

LE VEAU
ANIMAL POUR L'EXPERIMENTATION
D'UN CŒUR ARTIFICIEL TOTAL
INTRA-THORACIQUE.
QUELQUES CONSIDERATIONS
SUR LE CHOIX ET LA PREPARATION.

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD de LYON

(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 7 Janvier 1982

pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Pierre DEBARNOT

né le 11 Janvier 1954

à SAINT-VALLIER (Saône-et-Loire)





Digitized by the Internet Archive
in 2026

LE VEAU
ANIMAL POUR L'EXPERIMENTATION
D'UN CŒUR ARTIFICIEL TOTAL
INTRA-THORACIQUE.
QUELQUES CONSIDERATIONS
SUR LE CHOIX ET LA PREPARATION.

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD de LYON

(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 7 Janvier 1982

pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Pierre DEBARNOT

né le 11 Janvier 1954

à SAINT-VALLIER (Saône-et-Loire)



LE VEAU ANIMAL POUR L'EXPERIMENTATION D'UN CŒUR ARTIFICIEL TOTAL INTRA-THORACIQUE QUELQUES CONSIDERATIONS SUR LE CHOIX ET LA PREPARATION.

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD de LYON

(Médecine - Pharmacologie)

et soutenue publiquement le 7 Janvier 1983

pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

PIERRE DEBARNOT

né le 10 Mars 1954

à SAINT-ETIENNE (Loire)



PERSONNEL ENSEIGNANT

DE L'ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Directeur : Monsieur le Professeur Ph. COTTEREAU.

Directeurs honoraires : Messieurs les Professeurs :
TAPERNOUX, FLORIO, FROGET.

PROFESSEURS

Alimentation	M. JEAN-BLAIN
Anatomie	
Chirurgie	M. COULON
Histologie, Anatomie pathologique	M. TISSEUR
Hygiène et Industrie des aliments d'origine animale .	M. CHANTEGRELET
Maladies contagieuses	M. JOUBERT
Parasitologie	M. EUZEBY
Pathologie générale, Microbiologie	M. OUDAR
Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour	M. COTTEREAU
Pathologie médicale des équidés	M. FONTAINE
Pathologie de la reproduction	M. BERTRAND
Pharmacie - Toxicologie	M. LORGUE
Physiologie	M. BOST
Physique - Chimie	M. DELATOUR
Zootchnie	M. FROGET

PROFESSEURS SANS CHAIRE

M. GASTELLU, M. PRAVE, M. DESCHANEL, M. BOIVIN, M. FRANCK.

MAITRES DE CONFERENCES

M. GEVREY, M. RICHARD, Mme BRUGERE, M. KECK, M. CLERC.

MAITRES ASSISTANTS AGREGES

M. LEGEAY

MAITRES ASSISTANTS

M. DENOIX, M. FAU, M. DEMONT, M. CHOMEL, Mme CHAUVE, Mme GUERIN, M. THIN,
Mme RACHAIL, M. JAUSSAUD, M. GARNIER, Mme GRAIN.

ASSISTANTS

M. GRANCHER, M. SARSAT, Mlle BERTHELET, Mme GRANCHER-WATRELOT, M. LEFOURNIER,
M. DUCLOS, M. NGO TAN HUNG, M. GUERIN, Mlle VIALARD, M. BOUVIER, M. NODET,
Mme PEPIN-RICHARD, M. THIEBAULT, Mlle MARTIN, Mme LEFEBVRE-LENOIR.

L'Université Claude Bernard (Médecine-Pharmacie) de Lyon et l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon déclarent que les opinions émises dans les dissertations qui leur sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent leur donner ni approbation ni improbation.

A MES PARENTS,

Pour leurs sacrifices

Qu'ils trouvent ici un témoignage de ma profonde reconnaissance
et de ma sincère affection.

A JACQUELINE, mon épouse, à ma fille MURIELLE,

Dont la présence et le soutien seront toujours un réconfort
pour moi.

A MA FAMILLE,

Pour son soutien et sa constante compréhension.

A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS.

A Messieurs les membres de notre Jury

Monsieur le Professeur MARION

Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie
de Lyon,

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de
notre jury de thèse.

Nous le prions de croire à notre profonde reconnaissance.

Monsieur le Professeur COULON

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,

Qui nous a confié ce travail.

En témoignage de notre reconnaissance pour l'enseignement
qu'il nous a donné et l'accueil qu'il nous a réservé au
sein de son Service.

Monsieur le Professeur Ph. COTTEREAU

Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,

Qui nous a fait le grand plaisir de siéger au jury de
notre thèse.

En témoignage de notre estime.

A Monsieur le Docteur KEPENEKIAN

Qui nous a guidé dans ce travail et nous a conseillé
avec bienveillance dans l'élaboration de ce sujet.

Profonde gratitude.

PLAN

INTRODUCTION

1ère PARTIE : APERCU SUR L'ETUDE EXPERIMENTALE D'UN COEUR ARTIFICIEL TOTAL INTRA-THORACIQUE

CHAPITRE I : HISTORIQUE

- A - Le coeur artificiel total
- B - Les ventricules auxiliaires

CHAPITRE II : PROBLEMES POSES PAR LE COEUR ARTIFICIEL

- A - Problèmes technologiques dans l'élaboration d'un coeur artificiel : expérimentation pré-clinique
 - a) Les matériaux
 - 1) Les qualités requises
 - 2) Les réactions du matériel sur l'organisme
 - b) Formes et construction de la prothèse
 - c) La source d'énergie
 - d) L'activateur et la régulation
- B - L'expérimentation clinique chez l'animal
 - a) L'intervention
 - b) Nécessité d'une équipe pluridisciplinaire
- C - Les applications cliniques

2ème PARTIE : CHOIX DU VEAU POUR L'EXPERIMENTATION D'UN COEUR ARTIFICIEL TOTAL INTRA-THORACIQUE : CHOIX DE L'ESPECE

CHAPITRE I : LES CRITERES SELECTIFS DE L'ESPECE

- A - Les critères anatomiques
- B - Les critères physiologiques

CHAPITRE II : CHOIX DE L'ESPECE

- A - Espèce de petit format
- B - Espèce de grand format

3ème PARTIE : LES PARTICULARITES DE L'ESPECE BOVINE

CHAPITRE I : LES PARTICULARITES ZOOTECHNIQUES : CHOIX DE LA RACE

- A - Races à viande ou races laitières
- B - Choix de la race

CHAPITRE II : LES PARTICULARITES ANATOMIQUES : CHOIX DU SEXE

- A - La région thoracique
 - a) Les plèvres et le médiastin
 - b) Les poumons
 - c) Le coeur
 - d) Le système vasculaire
- B - La région abdomino-pelvienne
 - a) La cavité abdominale
 - b) La cavité pelvienne

CHAPITRE III : LES PARTICULARITES BIOCHIMIQUES ET HEMATOLOGIQUES

- A - L'hémogramme
- B - Valeurs des gaz du sang
- C - Valeurs de divers paramètres sanguins
- D - Les groupes sanguins et les tests de coagulation
 - a) Les groupes sanguins
 - b) Les tests de coagulation

CHAPITRE IV : LES PARTICULARITES PHYSIOLOGIQUES CARDIO-VASCULAIRES
ET PULMONAIRES

A - Physiologie cardio-vasculaire

- a) Caractéristiques cardiaques
- b) Physiologie cardio-vasculaire

B - Physiologie pulmonaire

- a) Caractéristiques ventilatoires
- b) Physiologie pulmonaire

CHAPITRE V : DOMINANTES PATHOLOGIQUES RENCONTREES CHEZ LE VEAU :
CHOIX DE L'INDIVIDU

A - Dominantes pathologiques liées à l'âge

- a) Période néonatale
- b) Période post-natale

B - Dominantes pathologiques liées au type d'élevage

- a) Le veau provient d'un élevage traditionnel
- b) Le veau provient d'un élevage intensif

4ème PARTIE : CONDUITE ET SOINS PRE-OPERATOIRES

CHAPITRE I : RECEPTION DU VEAU : CONDUITE A RESPECTER

A - L'examen général

B - Les examens spéciaux

- a) L'appareil respiratoire
- b) L'appareil circulatoire
- c) L'appareil digestif

C - Les examens complémentaires

CHAPITRE II : LES SOINS PRE-OPERATOIRES

A - L'alimentation

- B - L'environnement
- C - La surveillance
- D - Préparation pré-opératoire
 - a) La veille de l'opération
 - b) Le jour de l'opération

CHAPITRE III : BILAN

- A - Les bases du problème
- B - Les risques encourus par le veau
- C - Solutions à envisager
 - a) Origine du veau
 - b) Plan d'élevage
 - 1) La préparation alimentaire
 - 2) La préparation sanitaire

CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Le problème des transplantations d'organes se fait de plus en plus aigu en médecine. De nombreux médecins, chirurgiens et chercheurs essaient de déterminer les conditions les plus rigoureuses possibles pour la réussite de ces transplantations : en particulier prévenir les phénomènes de rejets d'origine immunologique par une sélection de candidats potentiels et par un choix tout aussi rigoureux des donneurs.

Ce problème est fondamentalement crucial pour la chirurgie cardiaque.

Or, confronté à l'urgence chirurgicale devant une insuffisance cardiaque, aux difficultés d'obtenir dans des délais suffisamment rapides le coeur à greffer, l'élaboration de procédés mécaniques qui peuvent substituer soit partiellement, soit totalement la fonction cardiaque s'est révélée indispensable.

En 1957, bien que SALISBURY (cité par AKUTSU) admettait déjà que la transplantation cardiaque était la meilleure solution pour remplacer un coeur, il lança cependant l'idée d'une prothèse cardiaque pour résoudre en particulier les problèmes immunologiques.

L'espèce bovine semble être l'espèce la plus souvent utilisée en chirurgie cardiaque expérimentale.

Il apparaît intéressant de discuter la valeur de ce choix et de fixer quelques critères.

Après un aperçu sur l'étude expérimentale d'un coeur artificiel, nous étudierons dans une deuxième partie les critères de sélection du choix de l'animal.

Puis nous envisagerons les particularités (zootechniques, anatomiques, biochimiques, physiologiques et pathologiques) de l'espèce choisie, pour insister dans la dernière partie sur la conduite à tenir lors de la réception de l'animal ainsi que sur les soins pré-opératoires à lui prodiguer.

En France, cette recherche à laquelle les promoteurs nous ont fait l'honneur de nous associer est l'oeuvre d'un certain nombre de collaborateurs à qui nous exprimons notre vive gratitude :

Professeur P. MARION : Chef de Service de Chirurgie Cardio-vasculaire de l'hôpital Edouard Herriot de Lyon,

Directeur de l'Institut de Recherches Cardio-vasculaires de Lyon

Les membres de l'Institut de Recherches Cardio-vasculaires :
Dr KEPENEKIAN, Dr HEYNEN, Dr GEORGE.

PREMIERE PARTIE

APERCU SUR L'ETUDE EXPERIMENTALE

D'UN COEUR ARTIFICIEL TOTAL INTRA-THORACIQUE

Cet aperçu a été parfaitement illustré dans un article de KEPENEKIAN, HEYNEN, GEORGE dont nous nous inspirons et auquel nous faisons un large emprunt.

CHAPITRE I : HISTORIQUE

La recrudescence des maladies cardiaques place les médecins devant des atteintes graves qui, dans certains cas, atteignent rapidement la limite des moyens actuels de la thérapeutique médicale et chirurgicale. Aussi, la suppression de l'organe malade et son remplacement ont été envisagés. Deux solutions étaient alors possibles.

- la greffe cardiaque

Elle est pratiquée chez l'homme depuis 1967 avec des résultats qui en font actuellement une thérapeutique valable, bien que tous les problèmes immunologiques qu'elle soulève ne soient pas résolus. Ils le seront probablement dans un avenir proche, mais il restera alors le problème des donneurs ; des statistiques américaines ont déjà démontré qu'il y avait plus de candidats à la greffe que de greffons utilisables. Il faudra donc à long terme une meilleure solution qui pourrait être le coeur artificiel.

- le coeur artificiel

Les problèmes soulevés par un tel organe artificiel sont multiples et difficiles à résoudre : la physiologie cardiaque, le choix d'un matériau compatible avec l'organisme, le choix d'une énergie ...

Il faudra trouver à tous ces problèmes une solution qui rende la vie du malade proche de celle qu'il aurait eue normalement. Ce type de travail déborde largement le cadre de la seule recherche médicale : il nécessite des équipes pluridisciplinaires et dépend étroitement des progrès de la technologie dans les disciplines aussi diverses que la recherche sur les matières plastiques ou le développement de nouvelles sources d'énergie.

Ce sont CARREL et LINDBERGH qui, les premiers, imaginèrent en 1935 de suppléer la fonction cardiaque par une machine. C'était un coeur-poumon, capable de remplacer temporairement le coeur et le poumon naturels.

C'est en 1950 qu'aura lieu la première tentative de chirurgie cardiaque humaine sous circulation extra-corporelle. Pendant un temps limité, quelques minutes à quelques heures, on peut dévier le sang vers une pompe extérieure, où il est oxygéné puis réinjecté dans l'organisme assurant un débit suffisant au niveau des tissus. Cette méthode a permis le grand essor de la chirurgie cardiaque et ouvert la porte aux recherches sur le coeur artificiel proprement dit.

A- Le coeur artificiel total

En France, entre 1953 et 1958 ZACOUTO et CORABOEUF avaient commencé des travaux sur le coeur total et avaient obtenu des survies chez le chien de quelques heures.

C'est en 1957 que le premier projet américain fut élaboré par KOLFF et AKUTSU avec pour but la mise au point d'une prothèse mécanique capable de se substituer anatomiquement et physiologiquement au coeur naturel.

En 1958 cette équipe implante chez le chien un coeur total en chlorure polyvinyl activé pneumatiquement par deux tubes d'air comprimé traversant le thorax. La première survie est d'une heure et demie. Il faudra attendre quatre ans pour qu'AKUTSU obtienne avec un coeur de "type sac" en polyuréthane, toujours à activation pneumatique, une survie de 24 heures, puis encore quatre ans pour passer à 48 heures.

A partir de 1966, de nombreuses équipes, américaines surtout, travaillent sur ce problème.

En 1970 on obtient une semaine de survie, en 1971 le cap de 10 jours est franchi et en 1974 AKUTSU rapporte l'observation d'un veau ayant vécu 25 jours.

Dans cette course au prestige il y a bien sûr des favoris. L'équipe de KOLFF (USA) et l'équipe de BUCHERL (RFA) obtiennent une survie de six mois.

En France, depuis 1975, il n'y a plus de projet officiel de coeur artificiel implantable. Le Professeur P. MARION continue cependant ses travaux de recherche dans cette direction.

B - Les ventricules auxiliaires

Parallèlement aux travaux sur le coeur artificiel total, on étudie en raison d'indications cliniques plus fréquentes des prothèses d'assistance circulatoire, c'est à dire un ventricule droit ou plus souvent gauche mis en série avec le coeur naturel défaillant, pour l'aider, soit à passer une période critique, soit à attendre une greffe cardiaque (proche en cela du rein artificiel).

CHAPITRE II : PROBLEMES POSES PAR LE COEUR ARTIFICIEL

Si la greffe d'organes a stimulé une science médicale nouvelle : l'immunologie , l'étude des prothèses a fait naître la science des biomatériaux.

L'étude des biomatériaux doit comprendre trois niveaux d'expérimentation :

- l'élaboration de la prothèse ou l'expérimentation pré-clinique permet d'apprécier les propriétés toxicologiques cancérigènes et hématologiques des produits entrant dans la constitution de la prothèse. Ces études déterminent la biocompatibilité, c'est à dire l'aptitude du matériau à rester inerte au contact des tissus.

- l'expérimentation clinique chez l'animal consiste à étudier la biofonctionnalité de la prothèse. Elle mesure l'aptitude de la prothèse à remplir la fonction pour laquelle elle est prévue.

- l'expérimentation clinique chez l'homme ne survient alors que si la prothèse a satisfait aux deux conditions énumérées ci-dessus.

A - Problèmes technologiques dans l'élaboration d'un coeur artificiel : expérimentation pré-clinique

Les problèmes posés par le coeur artificiel sont multiples. Nous aborderons successivement le choix du matériau, la forme et la fabrication des prothèses, l'énergie, le système activateur, la régulation.

a) Les matériaux

Les matériaux utilisés pour la fabrication des prothèses cardiaques ou vasculaires sont nombreux. Progressivement des tests ont permis d'éliminer certains matériaux sans pour autant définir les critères absolus de choix pour les autres.

Actuellement ceux qui sont les plus employés sont : le polyamide (Nylon), le polyester (Dacron), les fluoro-carbones (Teflon), les silicones (Silastics) le chlorure de polyvinyl, différents types de poly-uréthanes.

1) Les qualités requises

Si les premières qualités requises doivent être des qualités techniques pures c'est à dire la présentation et la facilité à être travaillés, pour les autres qualités il faut évoquer principalement la résistance mécanique et la résistance biologique.

- La résistance mécanique

Les prothèses cardiaques ont à fournir un travail important et surtout répété, environ soixante-dix fois par minute ; la solidité est à la base de leur fiabilité et l'implantation chez les malades n'est envisageable que si ce problème est résolu. Les critères principaux sont l'extensibilité, la force de rupture et l'élasticité.

- La résistance biologique

C'est un problème intriqué avec le précédent. Pour le Teflon dont la résistance sur un banc mécanique était évaluée à dix ans, les expériences cliniques montrèrent rapidement que se crée un dépôt de fibrine qui fragilise cette valve et entraîne sa fracture en un ou deux ans.

Le Silastic présente des inconvénients, en particulier celui d'être perméable aux graisses sanguines qui arrivent à le déformer. Par ailleurs, des études récentes ont montré au cours de longues survies qu'il se fragmentait et créait des micro-embols dans différents organes comme le foie ou le cerveau.

A l'inverse, les poly-uréthanes semblent présenter une inertie biologique presque totale.

Les meilleurs tests in vitro ne peuvent pas remplacer les expériences sur l'animal avec la prothèse en position de fonction et il faut de longues et nombreuses survies pour affirmer d'un matériau qu'il est fiable.

2) Les réactions du matériel sur l'organisme

Le coeur artificiel, en contact direct et permanent avec le sang, est devenu opérationnel lorsque les problèmes de biocompatibilité, et ceux en particulier de l'hémocompatibilité ont été résolus.

- Toxicité des matériaux pour l'organisme

Les effets nocifs peuvent être consécutifs à une dégradation progressive du matériau en contact avec le sang. Le danger essentiel est dû à la possibilité pour certains polymères de se comporter comme des molécules antigéniques et d'entraîner des syndromes immunologiques mortels.

- Toxicité locale vis à vis des tissus environnants

La présence de corps étrangers provoque toujours une réaction locale de l'hôte : c'est l'inflammation, qui fait partie des moyens de défense de l'organisme. Il se forme autour de la prothèse une gangue de tissus nouveaux. Cette réaction n'a pas de conséquence propre mais il se surajoute parfois une infection microbienne qui peut être le point de départ d'une septicémie : c'est là une cause de mortalité fréquente chez les animaux d'expérimentation.

- Compatibilité avec le sang

Ce problème de compatibilité avec le sang est actuellement prioritaire car il apparaît immédiatement après l'implantation, alors que la résistance du matériel par exemple, n'intervient que secondairement.

Le sang est un milieu complexe avec différentes fonctions dont les principales sont le transport de l'oxygène et des métabolites. Il possède de multiples propriétés ; deux d'entre elles jouent un rôle important dans le cadre du coeur artificiel : la coagulation et l'hémostase.

+ La coagulation

C'est un phénomène physiologique qui permet la réparation des lésions vasculaires, mais il peut dans certains cas devenir trop important et créer des obstructions irréversibles.

La coagulation est favorisée par l'interruption du film cellulaire (endothélium) qui recouvre la face interne de tous les vaisseaux et du coeur sans aucune discontinuité. D'ailleurs, elle apparaît le plus souvent à la jonction plastique-endothélium.

Comment éviter un tel phénomène ?

Les globules rouges et les plaquettes ont une membrane chargée négativement, l'endothélium présente également sur sa face en contact avec le sang une charge négative. Il existe donc en permanence une répulsion électrique qui s'oppose à l'adhésion des cellules sur la paroi. Les membranes artificielles n'ont pas cette propriété. Une des solutions proposées est donc de créer une charge négative sur les matériaux.

La coagulation est également favorisée par la stagnation. Les parties en contact avec le sang doivent être "lavées" en permanence. Les prothèses actuelles sont étudiées pour provoquer des turbulences et ne comporter qu'un minimum de zones inertes.

Enfin, on a le choix entre des membranes lisses ou au contraire de type velours. Actuellement la plupart des équipes à l'exemple de celle de KOLFF recherche le matériau le plus lisse possible : les poly-uréthanes semblent à ce point de vue satisfaisants.

+ L'hémolyse

L'hémolyse est aussi un phénomène physiologique : les globules rouges sont régulièrement détruits à la fin de leur vie (120 jours). L'organisme donne vie, dans les conditions normales, à autant de cellules qu'il en détruit. Mais cet équilibre peut être rompu. Les cellules sanguines sont particulièrement fragiles. Les chocs, l'écrasement par des matériaux rigides entraînent rapidement leur destruction. Les coeurs à membrane sont peu hémolisants mais des prothèses comme les pompes centrifuges peuvent créer rapidement une purée cellulaire, avec une évolution fatale pour les animaux d'expérience en quelques jours.

b) Formes et construction de la prothèse

Le choix d'une forme nécessite la prise en compte des données anatomiques, physiologiques et mécaniques ; il dépend également de l'énergie choisie.

- Les prothèses à membrane

Depuis vingt ans différentes formes de prothèses à membrane ont été mises au point. Actuellement l'ensemble des équipes travaille sur une prothèse simple capable d'entrer dans le thorax sans créer de compression des autres organes, avec des capacités de débits supérieurs à 10 litres.

Ce coeur artificiel est composé schématiquement de deux pompes accolées l'une à l'autre ; chacune faisant office de ventricules gauche et droit. Ces deux coques indéformables comportent deux orifices dotés de valves : l'une d'admission et l'autre d'éjection du sang, et une membrane qui sous l'action de l'air comprimé, propulse le sang hors de la prothèse.

- Les autres types de coeur artificiel

Nous ne ferons que citer deux autres types de coeur artificiel pour illustrer deux approches différentes : les pompes centrifuges (petite turbine à palettes) et les coeurs dits mécaniques dont le principe de fonctionnement correspond à celui d'un jeu de bielles.

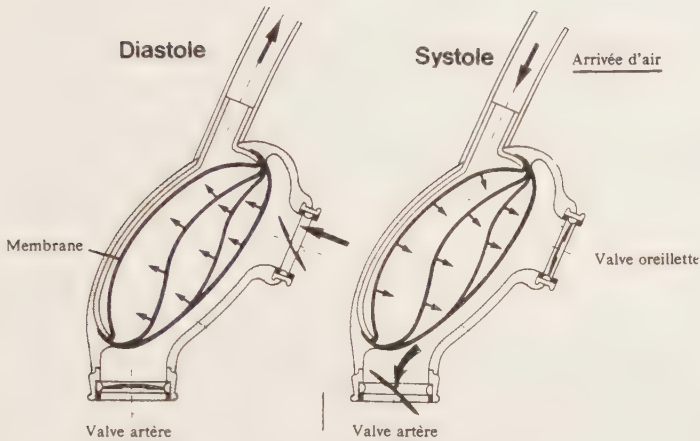
c) La source d'énergie

La source d'énergie pose le problème de l'autonomie donc de la miniaturisation.

- Les sources directes

L'utilisation des sources directes est la plus fréquente, que ce soit :

- . un tube transportant le gaz comprimé à partir d'un compresseur
- . un fil électrique traversant la paroi pour alimenter un moteur
- . un champ magnétique agissant à travers la paroi.



diastole : l'air reflue
la valve artérielle se ferme
la valve de l'oreillette s'ouvre
le sang remplit le ventricule et chasse
la membrane vers la gauche

systole : l'air arrive
la valve de l'oreillette se ferme
la valve artérielle s'ouvre
l'air déplace la membrane vers la droite
le sang est expulsé.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

DES COEURS ARTIFICIELS A MEMBRANE (35)

Les animaux qui survivent sont gardés et surveillés dans des enceintes spéciales où ils n'ont pas d'autonomie complète.

Dans le cas d'un coeur artificiel total et définitif, il apparait comme indispensable que le malade puisse avoir une autonomie au moins pour des périodes de temps, lui permettant de mener une vie presque normale.

- Les autres possibilités

Le dispositif idéal devrait comporter une source d'énergie intracorporelle réalisant alors l'autonomie. Plusieurs conditions sont à respecter : source énergétique de dimension réduite, aucun effet nuisible sur l'organisme, source de longue durée ou possibilité de la recharger périodiquement.

. Les batteries chimiques : on peut envisager de miniaturiser les batteries chimiques et d'éviter leur toxicité. Le problème reste celui de la charge. En effet, on compte qu'elles nécessiteraient 2 heures de charge, 4 fois par jour. Leur durée de vie pourrait être d'environ 2 ans.

. Les batteries cellulaires : elles constituent une des meilleures solutions pour l'avenir. Ces batteries fonctionnent avec des substances présentes dans l'organisme. Le principe est d'utiliser les réactions d'oxydo-réduction entre les matières réductibles et l'oxygène pour obtenir un courant électrique.

. L'énergie atomique : elle a été utilisée par l'équipe de KOLFF. Toutefois, l'utilisation d'une telle source (plutonium 238) pose plusieurs problèmes : la dissipation de la chaleur, le danger de la radio-activité pour l'organisme receveur, la conversion de l'énergie en activité mécanique.

d) L'activateur et la régulation

- L'activateur

C'est l'appareil qui permet de transformer l'air comprimé en une énergie modulée. Toutes les réalisations sont volumineuses et actuellement toujours en dehors de l'animal.

- La régulation

Comment le couple coeur artificiel-organisme va se comporter dans les diverses situations que sont l'effort, la marche, le sommeil ?

Ce problème va dépendre :

. d'une part, des paramètres externes, c'est à dire ceux de l'activateur : fréquence, pression positive et pression d'aspiration, rapport systole/diastole

. d'autre part, des paramètres de l'organisme c'est à dire la volémie, la pression artérielle, les résistances périphériques et pulmonaires et l'oxygénation du sang.

Plusieurs équipes essaient de mettre au point des systèmes électroniques capables d'intégrer ces informations et de les répercuter sur l'activateur.

B- L'expérimentation clinique chez l'animal

La prothèse étant réalisée technologiquement, du moins dans ses grands principes, l'expérimentation doit se poursuivre sur l'animal avant de l'extrapoler à l'homme.

a) L'intervention

Elle obéit aux principes classiques de la chirurgie : aseptie très stricte, utilisation de matériel identique à celui de la chirurgie cardio-vasculaire humaine, l'animal est d'abord anesthésié, intubé et mis sous ventilation assistée.

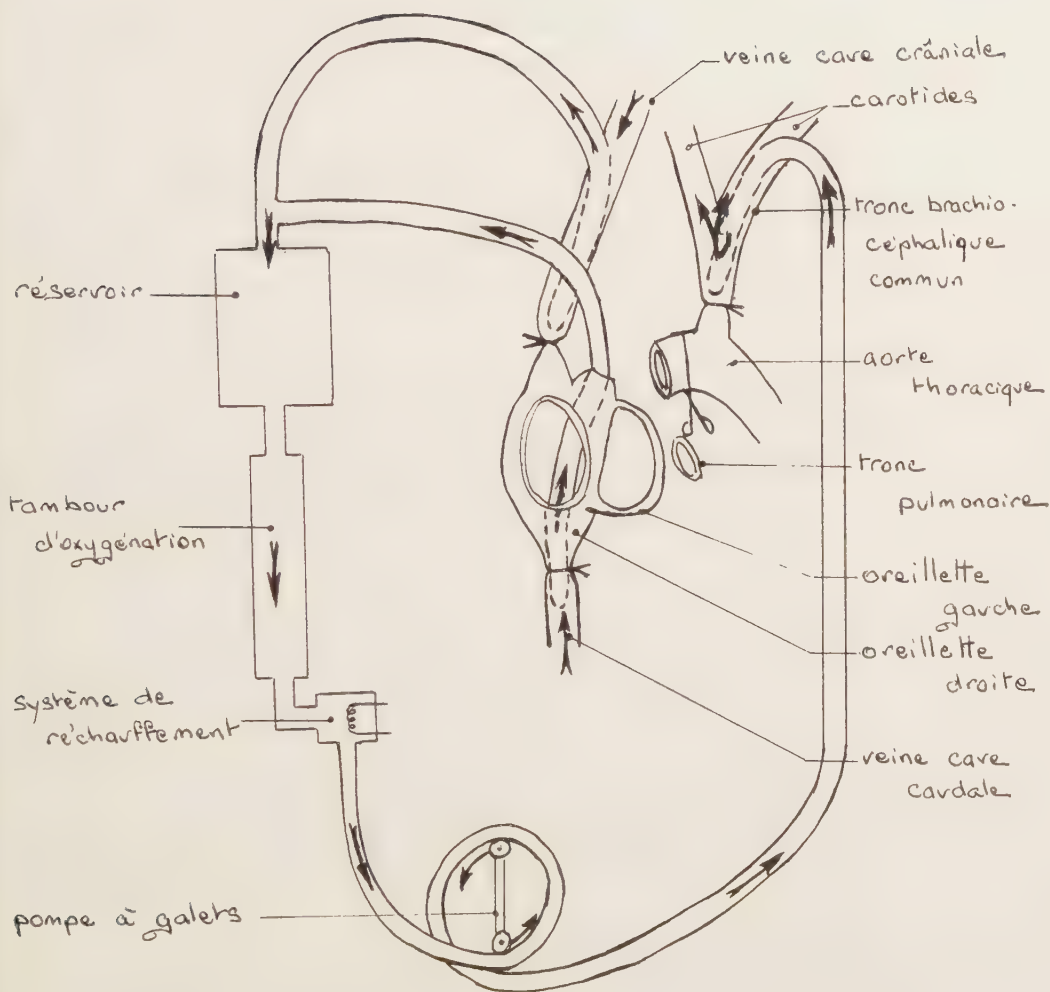
On pratique alors une thoracotomie latérale droite dans le quatrième espace inter-costal. Le temps suivant est la mise en place de la circulation extra-corporelle : c'est elle qui assurera l'oxygénation et la circulation pendant tout le temps du remplacement cardiaque. Le sang est récupéré par une canule dans la veine cave crâniale et une autre dans la veine cave caudale. Il est oxygéné puis réinjecté grâce à une pompe à galets dans la carotide d'où il passe dans l'aorte, en rétrograde. Le coeur est sectionné en laissant la base des oreillettes sur lesquelles seront cousus deux raccords qui permettront une fixation rapide du coeur artificiel à la fin de l'intervention. L'aorte et l'artère pulmonaire sont également sectionnées et individualisées ; on y suture deux raccords identiques.

Le coeur est alors mis en place. On purge l'air des cavités ventriculaires car les embolies gazeuses sont très graves (surtout chez l'homme). Les tuyaux d'arrivée d'air comprimé sont passés à travers le thorax et branchés aux sorties de l'activateur. Progressivement on démarre les coeurs droit et gauche en augmentant la pression positive (la pression d'activation gauche étant toujours supérieure à la droite) ; dans le même temps, on ralentit, puis on arrête la circulation extra-corporelle.

En fonction du débit des pressions artérielles et des pressions auriculaires, on affiche sur l'activateur des meilleures constantes.

Le thorax est alors refermé en laissant un drainage des cavités pleurales.

A ce niveau, la collaboration chirurgiens-vétérinaires s'avère indispensable pour estimer anatomiquement, physiologiquement la valeur du choix de l'animal.



SCHEMA D'UNE "CIRCULATION EXTRACORPORELLE"

b) Nécessité d'une équipe pluridisciplinaire

La recherche chirurgicale nécessite des structures regroupant les compétences de biologistes, de scientifiques, de médecins de l'homme et de l'animal. Plus que jamais, la pluridisciplinarité est garante d'efficacité.

Déjà, en son temps DESCARTES le ressentait comme tel : "Chacun contribue, selon son inclination et son pouvoir, aux expériences à réaliser, joignant ainsi les vies et les travaux de plusieurs pour aller, tous ensemble , beaucoup plus loin que chacun en particulier ne saurait le faire".

L'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, en particulier le Service de Chirurgie du Professeur COULON, est heureuse de participer aux recherches sur le coeur artificiel menées par l'équipe du Professeur MARION de l'Hôpital Cardio-vasculaire de Lyon.

c) Les applications cliniques

Le coeur artificiel total en clinique humaine débute par une tentative, en 1969, par COOLEY et LIOTTA.

Il s'agissait d'un malade pour lequel on ne disposait pas de greffon. Le coeur artificiel fonctionna une soixantaine d'heures, puis le malade subit une greffe, mais décéda hélas des suites de sa transplantation.

Grâce aux progrès(réalisés conjointement dans des domaines aussi variés que la dynamique des fluides, l'électronique, la recherche des biomatériaux, l'expérimentation chez l'animal) aboutissant à une fiabilité de fonctionnement de la prothèse, on est en droit actuellement d'envisager, sans optimisme excessif, dans des cas extrêmes l'implantation temporaire d'un coeur artificiel sur un patient en défaillance cardiaque aigu, candidat à la transplantation.

Si la limitation d'un tel protocole chirurgical tient plus à

- . un dépistage précoce de toute défaillance cardiaque
- . une grande disponibilité des équipes chirurgicales
- . une bonne conservation des greffons

le coeur artificiel total permettrait de passer ce cap de l'attente, et de subir la greffe dans de meilleures conditions.

DEUXIEME PARTIE

CHOIX DU VEAU POUR L'EXPERIMENTATION D'UN COEUR ARTIFICIEL TOTAL INTRA THORACIQUE

Face à l'impossibilité morale de réaliser sur le malade toutes les investigations que requéreraient les besoins de la recherche, l'expérimentation animale a permis d'immenses progrès dans le domaine des sciences.

Cependant, cette expérimentation reste complémentaire de la recherche chez l'homme. En effet, l'équivalent animal en tout point (anatomique, physiologique, biochimique ...) de l'espèce humaine n'existant pas, la notion d'animal "idéal" est donc à proscrire.

Un choix s'impose alors.

La sélection de l'espèce animale est motivée par plusieurs contraintes, en particulier par :

- des contraintes scientifiques

L'espèce choisie pour telle recherche devra avoir sur le plan biochimique, physiologique ou pathologique les caractéristiques les plus proches de celles de l'homme. Ainsi l'absence de vésicule biliaire chez le rat et le cheval permet de définir son rôle dans les autres espèces. Les bovins seront choisis pour l'étude de la leucose, les oiseaux pour la goutte, le porc pour l'athérosclérose, le chien pour le diabète sucré.

- des contraintes opérationnelles

Malheureusement ces dernières prévalent le plus souvent. Les expérimentations qui doivent aboutir à des conclusions statistiques, nécessitent l'emploi de nombreux lots homogènes d'animaux. L'aspect économique ainsi que les commodités de livraison sont primordiaux. La docilité de l'animal est aussi un critère à ne pas négliger, ainsi que la relative possibilité d'accès chirurgical aux organes étudiés.

Cette expérimentation constitue alors une atteinte aux droits de l'Animal que la réglementation limite au cas de stricte nécessité (décret n° 68.139 du 9.02.1968 et loi n° 76.629 du 10.07.1976 : JO 12.07.76 page 4204).

Les expérimentations cardiaques menées actuellement répondent à cette législation et en particulier aux deux articles suivants :

- article R 24-27 : "les interventions douloureuses sur les animaux sont faites sous anesthésie générale ou locale ou procédés analgésiques équivalents. Si l'animal est destiné à survivre à l'intervention, on doit, dans toute la mesure du possible, lui éviter la souffrance post-opératoire en lui prodiguant des soins ..."

- article R 24-28 : "les expériences destinées à la recherche scientifique ne peuvent être entreprises que si elles laissent espérer un résultat scientifique jusqu'alors non confirmé ou si elles sont de nature à apporter des éclaircissements à des problèmes restés sans solution ...".

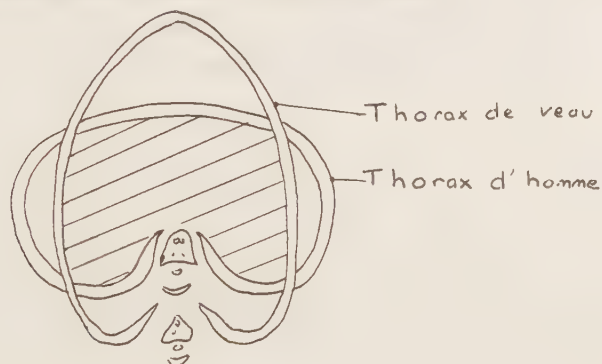
CHAPITRE I : LES CRITERES SELECTIFS DE L'ESPECE

A - Les critères anatomiques

Pour la chirurgie expérimentale cardiaque, un animal d'un grand format ayant un thorax bien développé est préférable. Plus la cavité thoracique est vaste, plus le travail de dissection, de suture est aisé.

Les ruminants ainsi que les équidés répondent à cette particularité. Cependant, chez ces espèces le thorax est aplati latéralement, alors que chez l'homme la cavité thoracique l'est dorsoventralement.

Chez ces animaux les poumons sont alors plus allongés mais moins épais; quant au muscle cardiaque les cavités dénommées coeur droit et coeur gauche deviennent respectivement crânial et caudal.



Ces caractéristiques topographiques sont primordiales pour la conception structurale de la prothèse. En effet la forme et le volume doivent être compatibles avec le fonctionnement des organes vitaux voisins (poumons, gros vaisseaux, diaphragme).

B - Les critères physiologiques

DOYLE et GOETZ ont étudié sur un vaste échantillon d'espèces les rapports pouvant exister entre les caractéristiques cardiaques et différents facteurs tels que le poids vif, la surface corporelle. Leurs études concluaient que le débit cardiaque et le poids vif étaient liés étroitement.

HOLT, cité par RUCKEBUSCH, quant à lui, parvenait à relier le débit et la fréquence cardiaques au poids vif par les deux formules suivantes :

$$D = 166 P^{0,73}$$

avec D = débit (ml/mn)

F = fréquence

$$F = 238 P^{-0,25}$$

P = poids vif (kg)

S'appuyant sur ces conclusions et afin de se rapprocher le plus possible des conditions d'utilisation d'une prothèse cardiaque chez l'homme, l'espèce retenue doit alors avoir un poids corporel de 80 à 90 kg.

Cela nous conduit à la conclusion suivante pour le choix de l'espèce :

1) une cavité thoracique suffisamment développée pour pouvoir y insérer la prothèse cardiaque sans altérer le bon fonctionnement des organes voisins

2) un poids vif proche de celui d'un homme moyen (80 à 90 kg).

CHAPITRE II : CHOIX DE L'ESPECE

A - Espèce de petit format

Bien que l'espèce canine ne réponde pas aux critères de sélection précédemment cités, nous nous voyons obligés de l'évoquer. Cette espèce a permis en effet de réaliser d'immenses progrès sur la recherche expérimentale d'un coeur artificiel.

Dans les années 1957 (début de recherche d'un coeur artificiel total par l'équipe KOLFF) le chien a été le premier modèle expérimental retenu pour concevoir la forme, le volume de la prothèse. Des recherches hémodynamiques ont approfondi le problème crucial des valves artificielles, en même temps qu'elles ont défini les caractéristiques fonctionnelles : rythme de pulsation, rapport systole/diastole, pression de l'air comprimé nécessaire pour obtenir une propulsion du sang hors de la prothèse.

Présentant l'énorme écueil d'une fragilité membranaire de ses globules rouges, le chien a permis cependant d'améliorer la technique chirurgicale d'implantation d'un coeur artificiel tout en précisant les conditions de fonctionnement.

B - Espèce de grand format

Le coeur artificiel devant être placé dans des conditions reproduisant celles de sa future utilisation chez l'homme, des animaux proches morphologiquement de l'être humain (veau, mouton, chèvre) seront préférés.

Les ovins ont été utilisés. Cependant le volume thoracique semble être trop réduit. La mise en place d'une prothèse cardiaque s'effectue le plus souvent au détriment de l'appareil respiratoire. L'hypoventilation consécutive détermine alors des lésions pulmonaires graves (congestion, hémipneumonie, atelectasie) responsable de la mort de l'animal par hypoxie.

La chèvre présente un aplatissement encore plus important de la cavité thoracique. De ce fait, elle n'est pas utilisée pour l'implantation d'une prothèse cardiaque intra-thoracique. Toutefois, au Japon ATSUMI poursuit les recherches sur cette espèce en implantant un coeur artificiel extra-thoracique.

Si le porc possède une conformation thoracique proche de celle de l'homme, il a été pourtant peu utilisé.

Animal nécessitant une contention des plus fermes, il présente d'autre part une fragilité assez prononcée de ses parois vasculaires. Cette particularité le prédispose aux hémorragies surtout d'origine chirurgicale.

Actuellement, le veau est le plus souvent préféré. D'un poids et d'un volume thoracique proches de l'homme, il présente d'autres caractéristiques non négligeables : animal robuste, docile, facilement maniable, d'un prix d'achat raisonnable.

En revanche, il a une structure de "nouveau-né", le coeur artificiel deviendra alors insuffisant au bout de six mois.

Si l'espèce bovine semble être le modèle expérimental le plus satisfaisant, il est nécessaire de préciser d'autres particularités : sexe, race, âge, appréciation de l'état sanitaire. Celles-ci constitueront les principaux sujets abordés dans la troisième partie.

TROISIEME PARTIE

LES PARTICULARITES DE L'ESPECE BOVINE

Le veau, par définition, est un animal de l'espèce bovine, de sexe mâle ou femelle non sevré et dont les coins de la première dentition ne sont pas usés, donc de moins de six mois.

Les veaux restent sous la mère pendant 8 à 15 jours afin qu'ils profitent du colostrum maternel. Ces animaux dits de "huit jours" sont collectés, rassemblés dans des centres de "tri" (centres d'allotement) par des organisations d'élevage (groupements, coopératives ...).

Des spécialistes sont alors chargés de classer les veaux selon leurs principales caractéristiques (race, sexe, poids, conformation, potentiel de croissance estimé) en vue de constituer des lots homogènes.

On distingue sommairement les veaux de boucherie et les veaux d'élevage.

- Les veaux de boucherie sont élevés uniquement avec une alimentation lactée de la naissance à 3-4 mois, âge auquel ils sont abattus en vue d'une production de viande dite "blanche".

Ils peuvent être

soit de pure race laitière mais à conformation insuffisante pour être gardés comme veau souche,

soit des produits de croisement (race laitière croisée avec race à viande).

Cette production bien qu'encore pratiquée de façon traditionnelle (veau de lait : veau tétant sous la mère) s'effectue aujourd'hui surtout de façon intensive (veau s'alimentant de lait reconstitué).

- Les veaux d'élevage après avoir tété leur mère durant la phase colostrale subissent, quant à eux, un sevrage relativement précoce.

Ces animaux sont destinés

soit à l'engraissement (production de viande rouge : boeuf, génisse et jeune bovin de boucherie)

soit à l'élevage (veau souche : ce sont des mâles ou des femelles destinés à la reproduction).

Le veau d'élevage (veau souche) correspond à un animal de pure race et de très bonne conformation. Il sera envoyé en nursery (race laitière) ou bien restera avec la mère (race à viande).

Quant au veau destiné à l'engraissement, il s'agit de croisement de races chez lequel l'engraissement n'est pas aussi précoce que pour le veau de boucherie. Il sera donc abattu plus tardivement.

Si aucune condition n'est précisée, le veau livré pourra être soit un veau d'élevage soit un veau de boucherie.

Or chaque type de production se caractérise par une race, une conformation, un devenir différent. Ces données nous incitent à définir pour le mieux la "carte d'identité" de l'animal.

CHAPITRE I : PARTICULARITES ZOOTECHNIQUES : CHOIX DE LA RACE

A - Race à viande ou race laitière ?

La France dispose d'une population bovine répartit en une trentaine de vaches. Suivant leurs aptitudes, on distingue :

- les races à viande nettement spécialisées dans la production d'animaux destinés directement à l'abattoir,
- les races laitières dont la production essentielle est le lait et ses dérivés (beurre, fromage),
- les races mixtes tout en produisant du lait les animaux ont une bonne fin bouchère,
- les races sans aptitude spéciale renommées autrefois pour leur disposition au travail, elles paraissent actuellement s'orienter vers une production de viande.

Le tableau ci-joint présente de façon synoptique les qualités particulières des différents types de races.

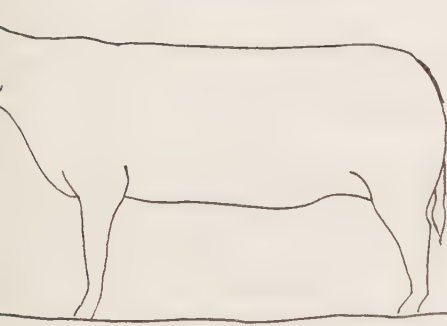
Toutefois, deux orientations prédominent : race à aptitude bouchère et race à aptitude laitière.

La race laitière est sélectionnée en fonction de la conformation de sa mamelle mais aussi de ses fonctions "digestives et respiratoires". Ces deux appareils, en permettant une oxygénation sanguine et une absorption intestinale optimales, se répercutent en effet sur la production lactée. Ce type d'animal est donc "bâti" selon un schéma "digestif et respiratoire". Il s'oppose ainsi au type "digestif et musculaire" de l'animal à viande qui requiert plutôt un flanc large avec un rein allongé (ces régions sur le plan de la qualité bouchère, représentent les régions musculaires nobles : filet, faux-filet ...).

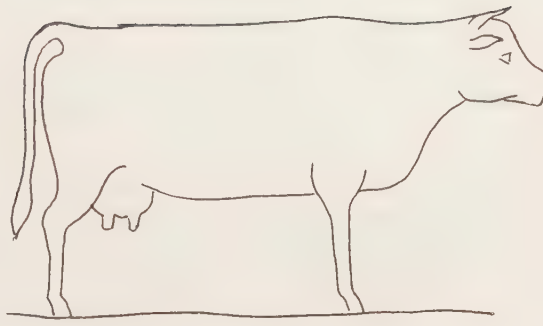
APTITUDES DES RACES BOVINES FRANÇAISES

- 32 -

APTITUDE PRINCIPALE	GROUPES ETHNIQUES ET RACES	QUALITÉS PARTICULIÈRES			
		LAIT	FROMAGE	VIANDE	D'ELEVAGE
RACES SANS APTITUDES SPÉCIALE	VOSGIENNE		Munster		très rustique
	GASCONNE				rustique
	TARENTEAISE		de Beaufort		
	FERRANDAISE		Fourme d'Ambert		très rustique
	AUBRAC		de Laguiole	Veaux blancs	rustique
RACES LAITIÈRES	SALEARS		{ Cantal Bleu d'Auvergne	Veaux blancs	très rustique
	BRETONNE PIEMOISE				
	JERSEIAISE				G ^{de} souplesse d'adaptation
	FRANÇAISE	Excellente			S'adapte
	FRISONNE PIE NOIRE	laitière			mais exigeante
RACES MIXTES (LAIT - VIANDE)	NORMANDE	Très bonne laitière	Comenbert Pont l'Évêque	à tourage	Rustique en climat océanique
	PIE ROUGE EST				
	MONTBÉLIARDE	Bonne laitière			
	TACHETÉE EST	Bonne laitière	Gruyère	bonne fin	très rustique
	ABONDANCE	très bonne laitière			très rustique
	BRUNE DES ALPES	Bonne laitière		bonne fin	très rustique
RACES À VIANDE	CHAROLAISE			Jeunesses et châtions (8-15 mois)	Croisement exigeant
	BLONDE SUD-OUEST				
	LIMOUSINE				Croisement rustique
	BLONDE D'AQUITAINE				
	MAINE-ANJOU			jeunesses facile	Exigeante



race à viande



race laitière

Les races à aptitude laitière caractérisées par une vaste cavité thoracique retiendront notre choix, d'autant que les races à viande présentent quelques inconvénients majeures.

Par exemple la sélection a révélé chez ces dernières un syndrome myopathie-dyspnée du veau culard charolais. Ce type de veau a double "cul de poulain" très prisé sur les marchés a, en général, un équilibre physiologique respiratoire et circulatoire précaire. A l'occasion d'un stress quelconque : exercice musculaire, tétée, ces facteurs déterminent souvent une acidose métabolique avec parfois risque de mort violente.

B - Choix de la race

Généralement la sélection s'effectue sur le seul critère de productivité ; or elle va généralement à l'encontre de la rusticité.

ETUDE DU FORMAT ET DE LA RUSTICITE POUR DIFFERENTES RACES LAITIÈRES (vaches adultes)

	Saïers	FFPN	Normande	Pie Rouge de l'Est			Brune Alpes
				Montbé- liarde	Abondance	Tachetée Est	
FORMAT	Tour poitrine Tpcm	195	200	191	190	200	205
	Profondeur p. pcm	74	75	74	70	75	76
RUSTICITE		0	+	++	+++	+++	+++

+++ : très bon + : moyen
 ++ : bon 0 : faible

Les mensurations de la cage thoracique de vaches laitières associées au degré de rusticité de la race permettent de limiter notre choix à quelques races :

- . la Salers
- . la Brune des Alpes
- . le groupe : Pie-Rouge de l'Est

Les veaux opérés jusqu'à présent étaient de race Montbéliarde. Ceci s'explique par les commodités de livraison. Toutefois, les autres races citées ne doivent pas être pour autant négligées.

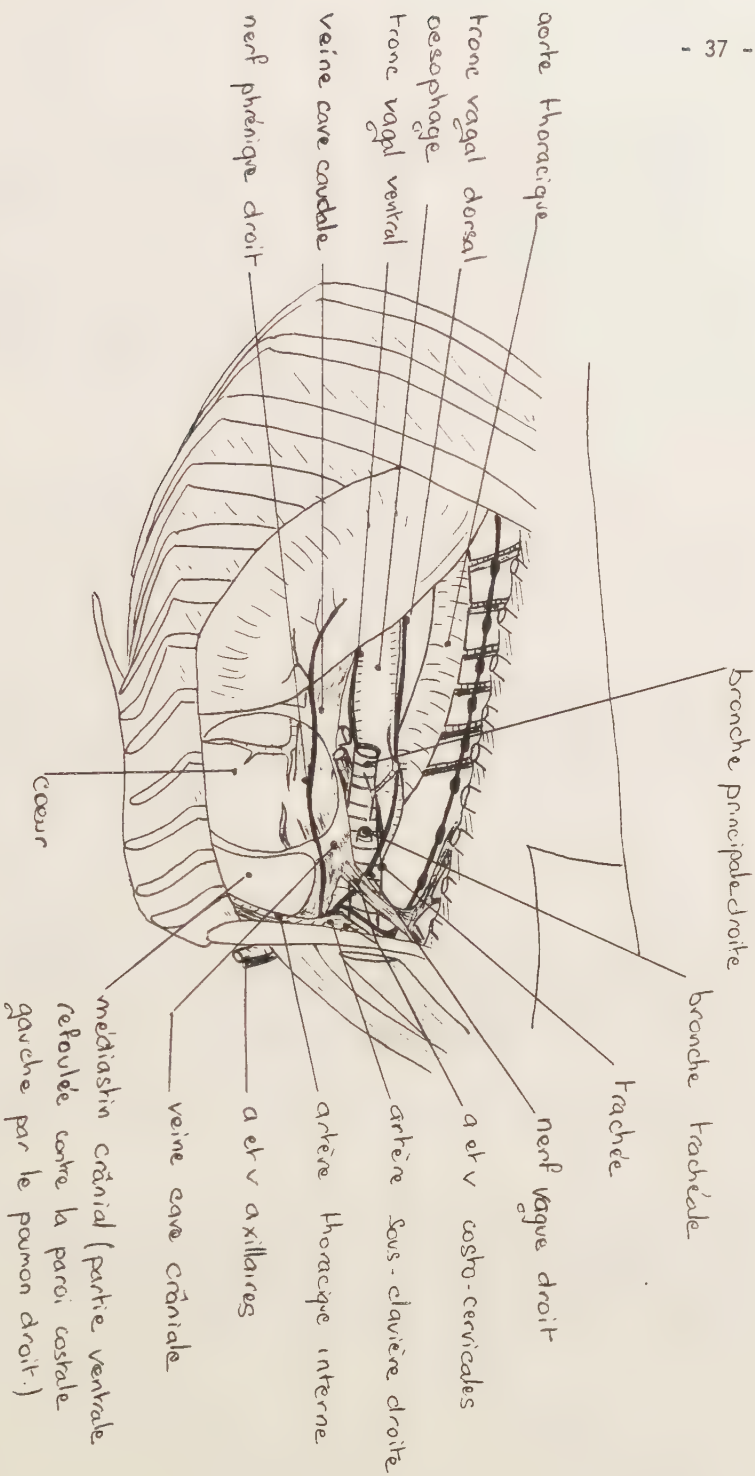
CHAPITRE II : PARTICULARITES ANATOMIQUES : CHOIX DU SEXE

Notre propos n'étant pas de décrire de façon exhaustive l'anatomie du veau, nous n'évoquerons que les particularités anatomiques inhérentes à l'expérimentation.

Nous décrirons brièvement la région thoracique et la région abdomino-pelvienne.

A - La région thoracique

Le thorax est la plus importante cavité de l'organisme après l'abdomen. Le squelette qui lui sert de base comprend 13 vertèbres thoraciques, 13 paires de côtes et un sternum. Sa forme est sensiblement celle d'un tronc de cône qui serait aplati. Le plafond est formé par les vertèbres thoraciques complétées par différentes masses musculaires et par différents ligaments. Ses parois latérales sont constituées par les côtes et par les muscles intercostaux et son plancher est représenté par le sternum, par les cartilages prolongeant les côtes sternales et par les muscles qui s'y insèrent.



DISSECTION DE LA FACE DROITE DU MÉDIASTIN D'UN BOEUF

Intérieurement, le thorax est divisé par le médiastin en deux espaces longitudinaux qui sont les cavités pleurales, celles-ci étant tapissées par des membranes séreuses ou plèvres. Les structures les plus importantes du thorax sont les plèvres, le médiastin, les poumons, le coeur, la trachée, l'oesophage et certains vaisseaux de grande dimension. Les rapports entre ces différents organes sont mis en valeur par les schémas ci-joints.

Toutefois, certains commentaires anatomiques sont à apporter.

a) Les plèvres et le médiastin

Chez les bovins les plèvres qui tapissent la face interne des parois thoraciques sont plus épaisses et plus résistantes que chez les équins.

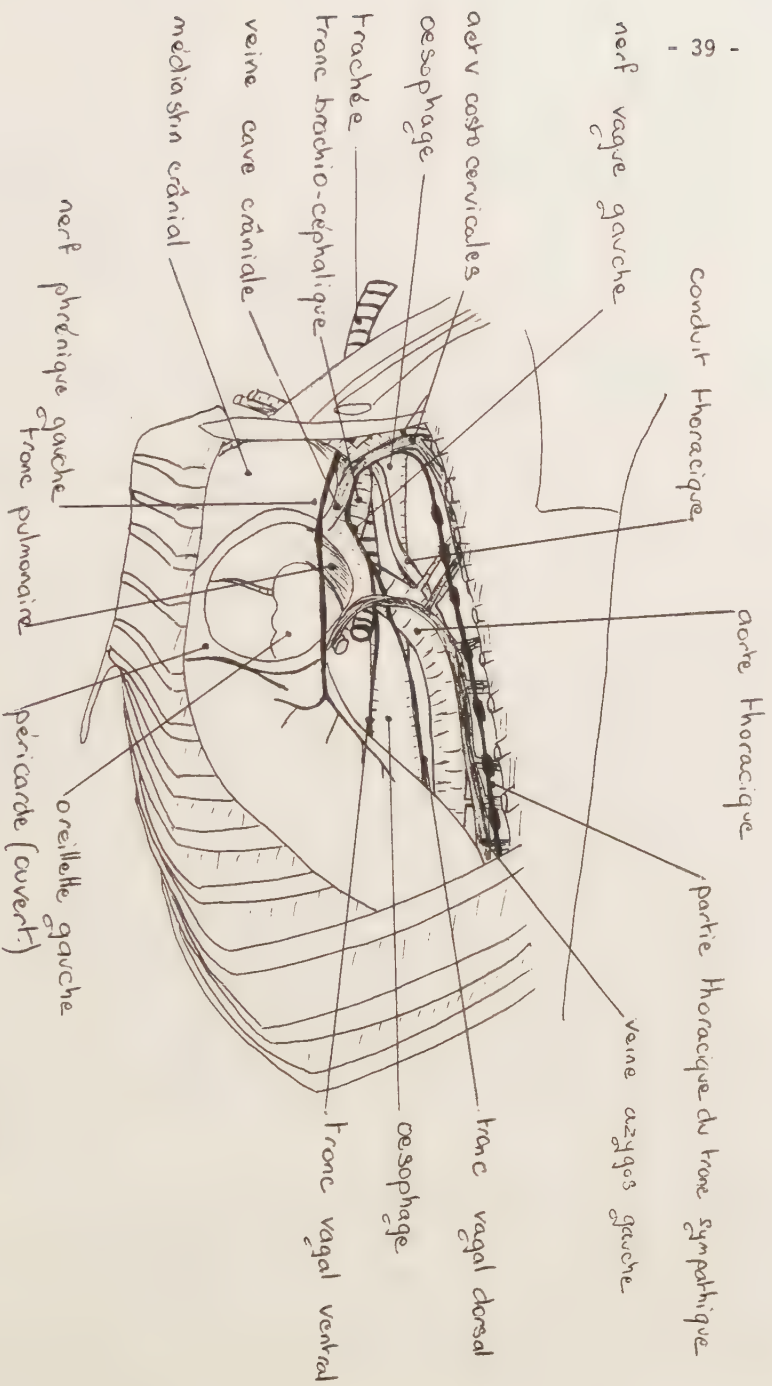
La cloison médiastinale, quant à elle, est imperforée aussi bien dans la partie crâniale que caudale. Cette particularité explique que les épanchements pleuraux et pleurésies soient presque toujours unilatéraux chez les bovins.

b) Les poumons

Fortement lobulé (aspect quadrillé de la surface résultant d'une richesse en vaisseaux lymphatiques interlobulaires) les poumons sont plus allongés mais moins épais que chez l'homme, en raison de l'aplatissement du thorax.

Dans cette espèce la dissymétrie pulmonaire est fortement prononcée.

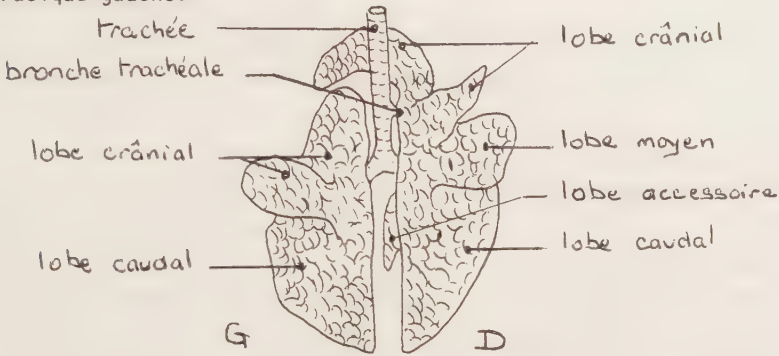
Le poumon droit est composé des lobes crânial, moyen et caudal et du lobe accessoire. Il représente 55 à 60 % du volume pulmonaire total. La bronche trachéale est une bronche asymétrique desservant le lobe crânial droit. Elle est située à 55-60 cm de l'entrée du larynx.



DISSECTION DE LA FACE GAUCHE DU MÉDIASTIN D'UN BOEUF

d'après BARON (4)

Ce lobe crânial droit est tel qu'il contourne ventralement la trachée pour venir appliquer le médiastin crânial sur la paroi thoracique gauche.



Le poumon gauche se divise en deux lobes : crânial et caudal.

Les alvéoles chez les bovins sont bien compartimentées si on les compare à celles des autres espèces domestiques. Les lobules sont effectivement séparés des autres par un septum interlobulaire, contrastant avec le septum incomplet du cheval qui permet une circulation collatérale du flux d'air. L'existence de conduits bronchiolo-alvéolaires chez le mouton, le lapin et l'homme procure également une circulation collatérale d'air qui n'a jamais été mise en évidence chez le boeuf.

Cette division peut prédisposer à l'hypoxie ou à l'anoxie périphérique lorsque des conduits aériens sont obstrués. Normalement les conduits aériens ne sont pas bouchés, mais si une occlusion se produit (bronchite, bronchiolite), la région périphérique depuis cet endroit est incapable de participer aux échanges gazeux. Il en résulte donc une hypoxie.

Ces particularités anatomiques sont essentielles à connaître. En effet, le volume occupé par la prothèse cardiaque aura tendance à comprimer les lobes ainsi que les conduits aériens des poumons. Si toutes les précautions ne sont alors pas prises lors de la conception et de l'implantation du coeur artificiel, l'hypoventilation ainsi déterminée induira une hypoxie.

c) Le coeur

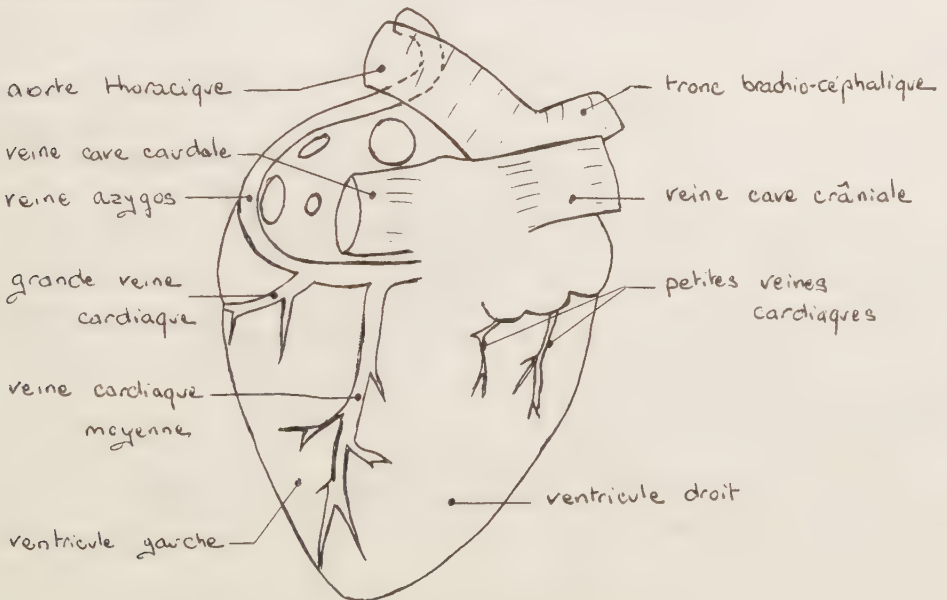
Il ne présente pas de grande particularité anatomique si ce n'est son irrigation.

Les artères coronaires, au nombre de deux, naissent de l'aorte immédiatement au-dessus de la valve aortique.

Chez les ruminants et les carnivores (contrairement aux équidés) la coronaire gauche beaucoup plus développée que la droite, irrigue un territoire plus étendu.

La veine moyenne et la grande veine du coeur débouchent chez les ruminants dans la veine azygos gauche, alors que chez l'homme elles se jettent dans le sinus coronaire. Les petites veines et veines minimes du coeur s'ouvrent quant à elles par plusieurs orifices à la base de l'oreillette droite.

Notons que comme tout nouveau-né le coeur d'un veau est d'une consistance friable. Il sera nécessaire de prendre toutes les précautions lors des sutures.



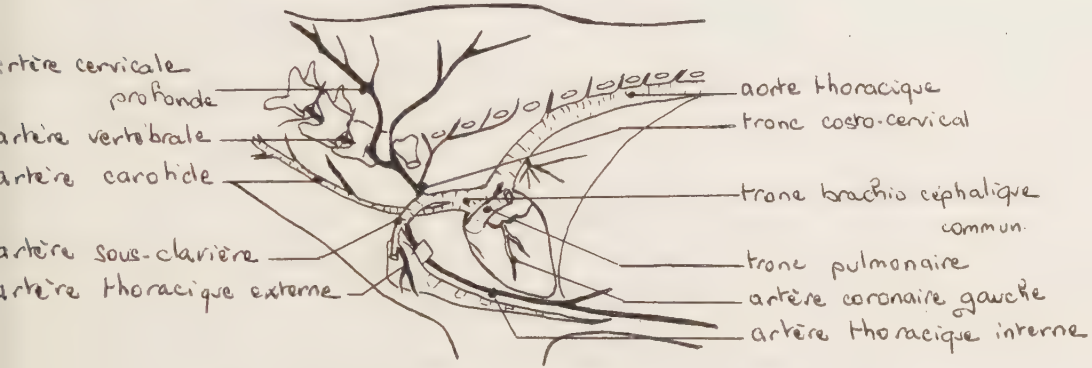
VEINES DU COEUR DE BOEUF

(Face droite)

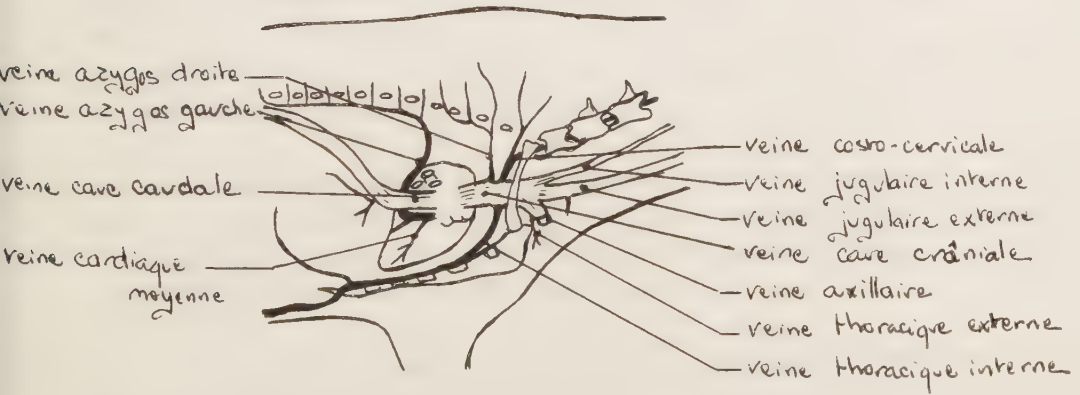
d'après BARONE (3)

d) Le système vasculaire

Celui des bovins présente des subdivisions artérielles et veineuses propres à l'espèce. Elles sont sommairement explicitées dans les schémas ci-dessous.



REGION THORACIQUE DU VEAU : LES ARTÈRES



REGION THORACIQUE DU VEAU : LES VEINES

d'après PAVAUX (27)

B - La région abdomino-pelvienne

a) La cavité abdominale

Très vaste, la cavité abdominale est séparée de celle du thorax par le diaphragme et se prolonge à son extrémité caudale par la cavité pelvienne. Elle loge les organes essentiels de la digestion.

La topographie des viscères abdominaux du veau est différente de celle de l'adulte.

L'estomac est subdivisé chez les ruminants en quatre réservoirs :

- . la panse ou rumen
- . le réseau ou réticulum
- . le feuillet ou omasum
- . la caillette ou abomasum.

Chez le veau le rumen, le réticulum et l'omasum sont pratiquement inactifs et non encore développés. La caillette très vaste occupe donc la plus grande partie de la région du ventre et du flanc droit. Le développement des autres réservoirs gastriques est en grande partie lié à l'alimentation et à l'âge.

Il convient de distinguer en effet différentes étapes dans le développement des compartiments gastriques :

- le stade monogastrique pendant lequel le veau ne consomme que du lait. Cette période qui occupe toute la vie du veau de boucherie peut être raccourcie chez le veau d'élevage à deux semaines. Pendant cette période seule la caillette est fonctionnelle.

- le stade polygastrique : le veau commence à avoir une alimentation mixte. La consommation progressive d'aliments grossiers (granulés, fourrages secs) au détriment de l'alimentation exclusivement lactée entraîne donc des modifications dans le développement des réservoirs gastriques.

DEVELOPPEMENT POST-NATAL DE L'ESTOMAC CHEZ LE VEAU (27)

	Age en semaines			
	0	4	8	16
Réticulo-rumen	38 %	52 %	60 %	67 %
Feuillet	13 %	12 %	13 %	18 %
Caillette	49 %	36 %	27 %	15 %

On retiendra aussi que les vaisseaux ombilicaux sont encore volumineux. Ils s'atrécient normalement en quelques jours, mais constituent surtout par la veine ombilicale des voies de pénétration possibles pouvant engendrer des omphalites.

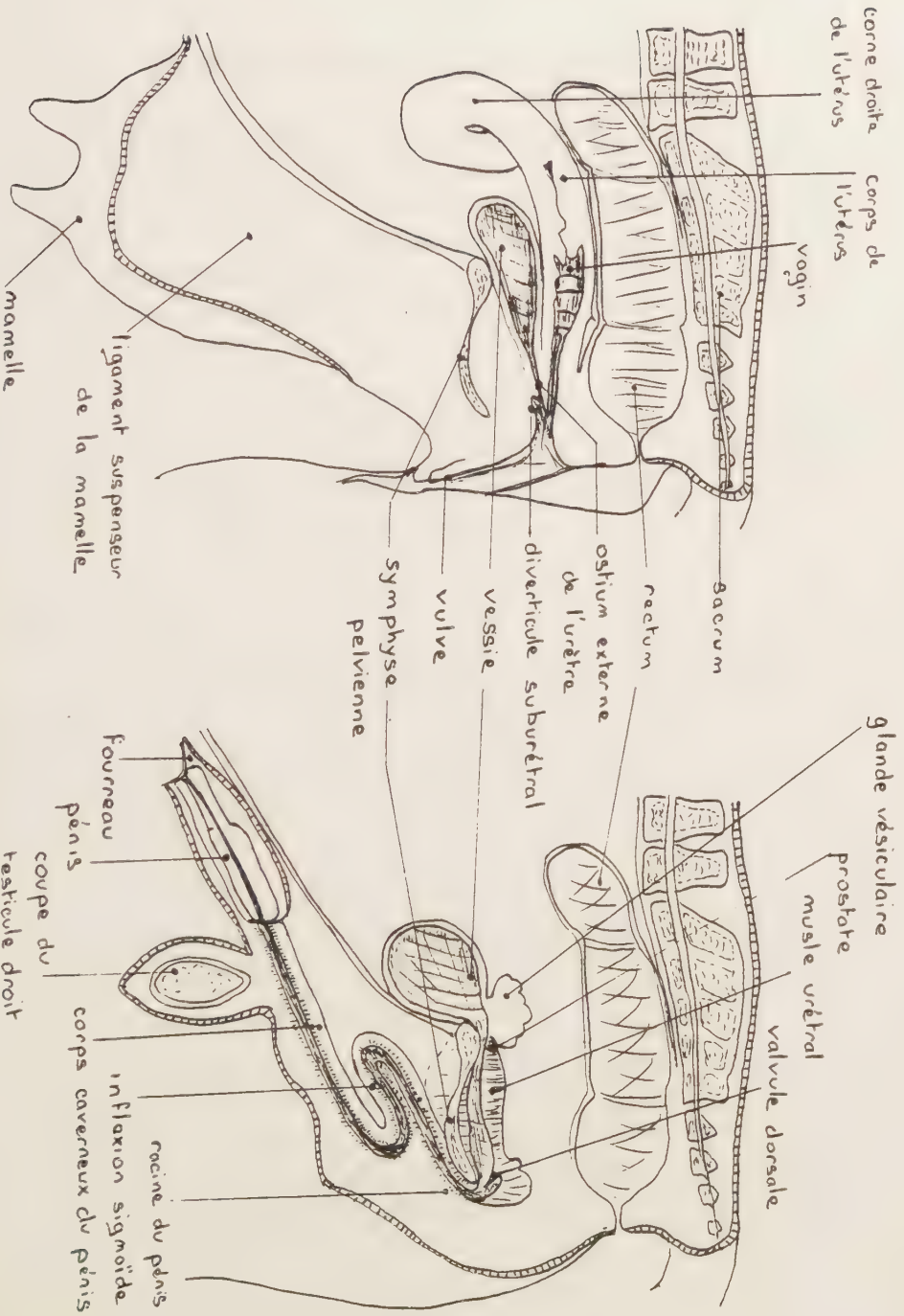
b) La cavité pelvienne

Elle loge une partie de l'appareil génital.

L'anatomie de l'appareil génital mâle révèle au moins deux obstacles à la mise en place d'un cathétérisme vésical :

- . l'inflexion sigmoïde du pénis
- . et surtout la présence d'une valvule au niveau des glandes bulbo-urétrales rendant impossible le passage d'une sonde.

C'est pourquoi la femelle bovine a été préférée bien qu'au moment du cathétérisme, il faut éviter le diverticule suburétral (sorte de "cul de sac" doublant ventralement l'ostium externe de l'urètre).



CHAPITRE III : LES PARTICULARITES BIOCHIMIQUES ET HEMATOLOGIQUES

La connaissance des caractéristiques hématologiques et biochimiques est absolument indispensable pour l'utilisation du veau en chirurgie cardio-vasculaire. De nombreuses études (américaines surtout) ont été réalisées sur le veau de race Holstein. Pourtant si la race influence sur la détermination des normes biochimiques, l'âge, l'alimentation, le type d'élevage (élevage traditionnel ou intensif) sont des facteurs de variation de ces données sanguines.

Aussi nous nous référerons pour l'hémogramme au travail effectué par l'équipe du Professeur HOLLARD (Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble). Les veaux servant de modèle avaient sensiblement les mêmes critères que ceux utilisés en chirurgie cardiaque.

A - L'hémogramme

Celui-ci a été obtenu en partie par la technique d'irradiation extra-corporelle (permet d'inhiber un certain nombre de fonctions biologiques).

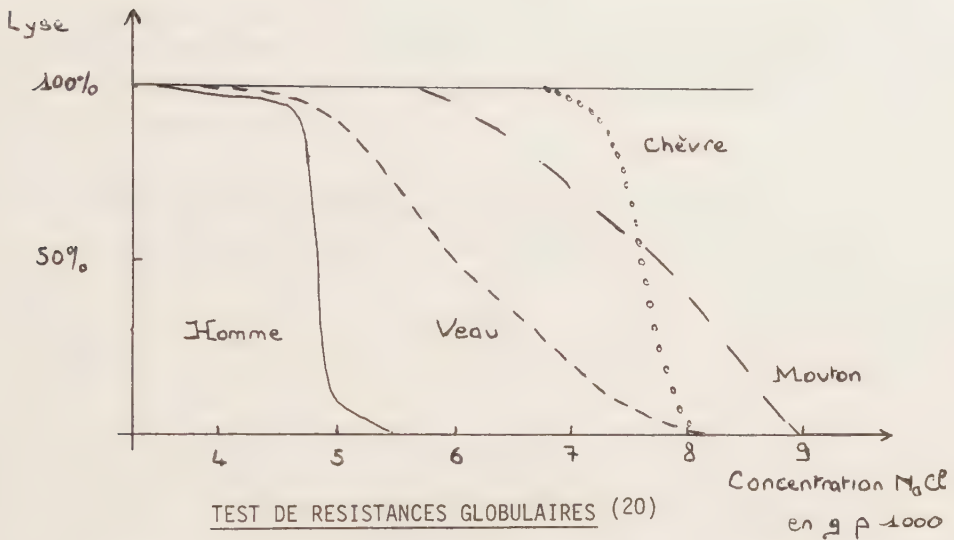
Les résultats sont rassemblés dans ce tableau où ils sont comparés avec ceux de l'enfant.

Certains commentaires sont à apporter :

- une inversion dans le pourcentage des polynucléaires et mononucléaires par rapport à l'homme adulte,
- un taux de thrombocytes élevé,
- des globules rouges qui sont petits et très fragiles. En effet lorsque du sang total est mis en contact avec des solutions de concentration croissante allant d'une solution de NaCl à 1g p 1 000 à une solution de NaCl à 10g p 1 000, la lyse pour le sang du veau commence à 8g p 1 000 alors qu'elle ne commence qu'à 5,5g p 1 000 pour le sang humain.

VALEURS HEMATOLOGIQUES CHEZ LE VEAU ET L'HOMME (20-37)

		Veaux (2 mois)	Enfant (2 mois)
Hématocrite	p 100	30-48	38
Hémoglobine	g p 100	9-14	11
Vol. érythrocytaire moyen	μ^3	40-45	82-92
Numération			
Hématies	$10^6/\text{mm}^3$	6-10	6
Leucocytes	$10^3/\text{mm}^3$	5- 8	11
Thrombocytes	$10^3/\text{mm}^3$	500à700	200à300
Réticulocytes	$10^3/\text{mm}^3$	2	1à3
Formule leucocytaire			
Polynucléaires			
Neutrophile	p 100	20à30	31
Eosinophile	p 100	1à2	2
Basophile	p 100	1	1
		} 30	} 34
Mononucléaires			
Lymphocytes	p 100	52	62
Monocytes	p 100	18	4
		} 70	} 66



Les auteurs ont étudié les caractéristiques hématologiques de la chèvre et du mouton. Les résistances globulaires des hématies de ces deux animaux apparaissent beaucoup plus basses encore que celle du veau.

B - Valeurs des gaz du sang

pH	7,3 à 7,4
Pression partielle O_2 mmHg	27 à 39
Pression partielle CO_2 mmHg	42 à 55
CO_3H^- mEq/l	25 à 36

Ces données sont primordiales. Ce sont des valeurs de référence à respecter lors de la mise en route de la circulation extra-corporelle puis lors du fonctionnement du coeur artificiel, d'autant plus que le veau est très sensible à l'hypoxie.

C - Valeurs de divers paramètres sanguins (9-20-26-27-29)

Na ⁺	mEq/l	127 à 149
K ⁺	mEq/l	3 à 5
Ca ²⁺	mEq/l	3 à 5
Cl ⁻	mEq/l	93 à 110
Bilirubine totale	mg/100ml	0,05 à 0,15
S.G.O.T.	Reitmann Frankeld U	80 à 12
	Carmen U	26 à 65
S.G.P.T.	Reitmann Frankeld U	2 à 20
	Carmen U	3 à 21
Protéines totales	g/100ml	5,6 à 5,9
Albumines	g/100ml	3,5 à 3,7
Globulines		
α globuline	p 100	12 à 13
β globuline	p 100	11 à 11,5
γ globuline	p 100	12 à 13,5
Volume plasmatique	ml/kg	48 à 54
Volume globulaire	ml/kg	27 à 29
Volume sanguin total	ml/kg	75 à 79
Phospho-lipides	mg/100ml	140 à 172
Cholestérol	mg/100ml	18 à 22
esters de cholestérol	mg/100ml	119 à 159
Urée	g/l	0,18
Créatinine	mg/100ml	0,53 à 1,14
Glucose	mg/100ml	60 à 126

Ces valeurs fluctuent en fonction de la race, de l'alimentation, mais surtout de l'âge du sujet.

D - Les groupes sanguins et les tests de coagulation

Nous nous limiterons à quelques généralités sur les groupes sanguins dans l'espèce bovine.

a) Les groupes sanguins

Les antigènes par dizaines tapissent la surface de la membrane des globules rouges, chaque antigène est désigné par une lettre. Avec environ 130 antigènes dénombrés chez les bovins, 11 groupes sanguins ont été déterminés.

Il devient alors rare de rencontrer deux bovins possédant exactement la même configuration antigénique.

A ces antigènes peuvent correspondre des anticorps présents dans le sérum. Cependant pour les bovins la plupart des groupes sanguins ne possèdent pas d'anticorps naturel correspondant. Il s'agit donc d'une situation semblable à celle du système rhésus de l'homme, exception faite pour le groupe J.

Chez les bovins qui ne portent pas sur leurs globules rouges de déterminant antigénique J, il existe des anticorps anti-J naturels (situation comparable au système A B O de l'homme).

Les accidents d'incompatibilité sont donc peu à craindre lors d'une première transfusion ; toutefois, afin d'éviter tout risque, il faut s'assurer que les donneurs (vaches) ne soient pas du groupe J et que le receveur (veau) ne possède pas alors d'anticorps anti-J.

Pour éviter cet accident, une goutte du sérum du receveur est mise en contact avec une goutte de sang du donneur. L'incompatibilité, si elle existe, se manifestera alors par une hémolyse.

b) Les tests de coagulation

Nous donnons sous forme de tableau les résultats des tests de coagulation réalisés par l'équipe du laboratoire d'hématologie de Grenoble.

Tests	Veau	Homme
Temps de coagulation	7 mn 30	7 mn 12
Temps de Quick	17 s ⁵ / ₁₀	10.15 s
Temps de Howel	2 mn 20	3 mn [±] 30 s
Temps de thrombine		
Thrombine ¹ / ₅	17 s ⁵ / ₁₀	12 s
Thrombine ¹ / ₁₀	29 s	20 s

Cette équipe a étudié d'autre part le sang de chèvre et celui du mouton pour voir notamment si ces deux animaux avaient des tests de coagulation très différents de ceux du veau.

Si les globules rouges sont encore plus fragiles (se rapporter au test de la résistance globulaire) le sang du mouton, quant à lui, est hypercoagulable.

CHAPITRE IV : LES PARTICULARITES PHYSIOLOGIQUES CARDIO-VASCULAIRES ET PULMONAIRES

Dans le système "cœur-poumon", bien que la chirurgie expérimentale s'attaque à l'implantation d'un cœur artificiel, c'est l'appareil respiratoire et en particulier pulmonaire qui semble lever quelques difficultés d'ordre physiologique.

A - Physiologie cardio-vasculaire

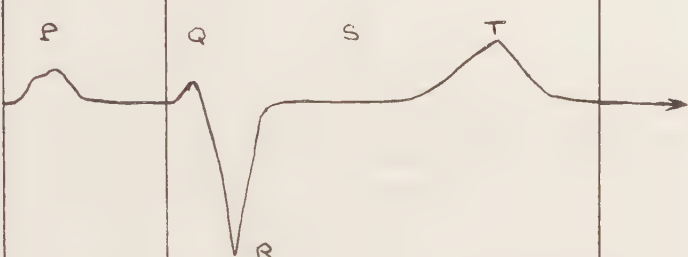
a) Caractéristiques cardiaques

	Poids Kg	Fréquence N/mn	Volume éjection ml	Débit total ml/mn	Débit ml/kg/mn	Durée systolique / révolution cardiaque
Homme	70	60-80	72	5 000	70	42
Veau	80	90-110	100	10 000	125	44

Ces quelques données sont nécessaires pour définir la fonction cardiaque.

Quant à l'électrocardiogramme, il précise les différentes phases de la révolution cardiaque.

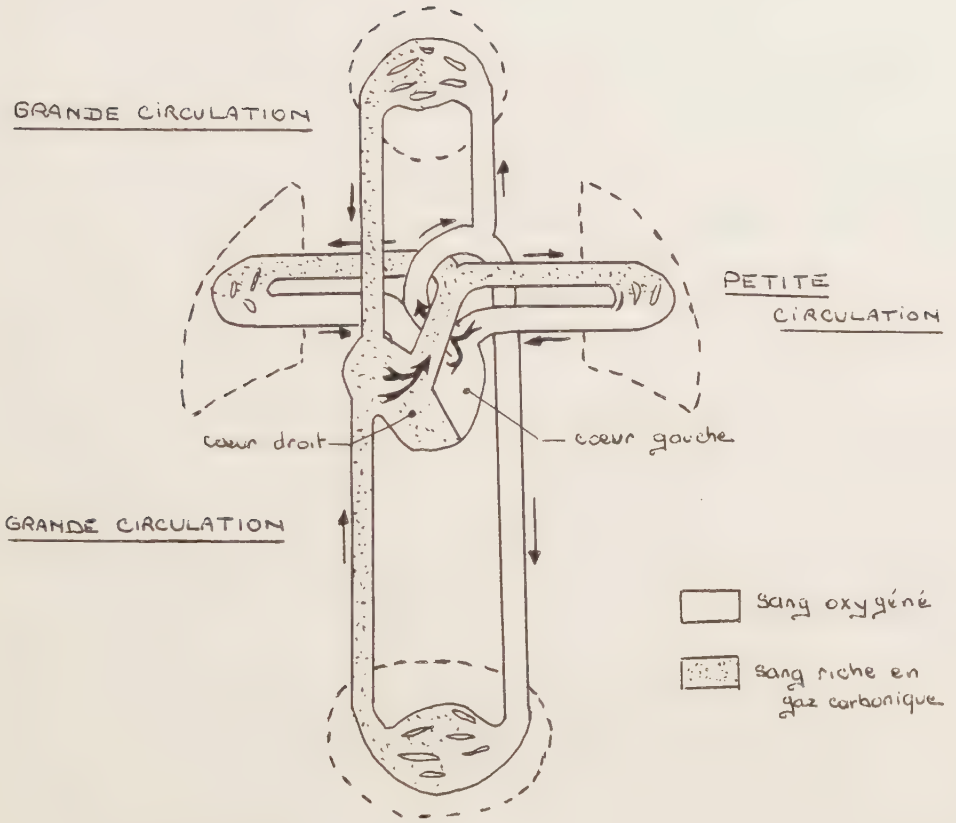
CARACTERISTIQUES DE L'ELECTROCARDIOGRAMME DES BOVINS (32)

Phases ECG	phase auriculaire		phase ventriculaire				phase repos
							
	P	PQ	Q	QRS	ST	T	
amplitude mV	0,20 0,30		0,15 0,25			0,30 - 0,50	
durée s	0,10 0,12	0,12 - 0,13		0,08 - 0,11	0,15 - 0,25	0,10 - 0,12	

b) Physiologie cardio-vasculaire

Le coeur, formé par la juxtaposition de "deux pompes" (coeur droit et coeur gauche) est le moteur central de la circulation sanguine.

Le coeur gauche est le coeur de la grande circulation qui assure la répartition du sang oxygéné à tous les tissus du corps. Le ventricule propulse ce sang reçu des poumons, dans le reste de l'organisme sous une pression moyenne de 80-100 mm Hg. Après avoir assuré la nutrition, ce sang appauvri en oxygène et enrichi en gaz carbonique revient au coeur droit par les veines caves.



LA FONCTION CARDIAQUE (21)

Le coeur droit alimente alors, à partir de ce sang, le circuit pulmonaire sous une pression moyenne de 25 mm Hg. Cette circulation intrapulmonaire ayant pour point de départ le coeur droit et aboutissant au coeur gauche est appelée petite circulation.

L'adaptation de la circulation aux besoins est assurée par divers mécanismes :

- la variation du débit cardiaque
- réglage du débit sanguin dans les organes par vasoconstriction ou vasodilatation
- mobilisation de la masse sanguine des organes réservoirs (foie, rate, moelle osseuse).

B - Physiologie pulmonaire

a) Caractéristiques ventilatoires

Chez le veau sain et au repos, à une température avoisinant 17-20°C

- la fréquence respiratoire est de 12 à 24 par minute
- le volume courant (volume d'une inspiration ou d'une expiration normale) est d'environ 550 ml.

b) Physiologie pulmonaire

L'étude réalisée par VEIT sur les paramètres respiratoires et sur la consommation métabolique de l'oxygène indique que les bovins ont la plus petite capacité physiologique d'échanges gazeux par rapport aux besoins en oxygène.

ECHANGES GAZEUX ET BESOINS METABOLIQUES DE BASE EN O₂ (40)

Espèce	Poids kg	Besoins en O ₂ mlO ₂ /m/kg	Tot.besoins en O ₂ mlO ₂ /m	surface totale alvéolaire m ²	Surf. tot. alvéolaire/ tot.besoins en O ₂
Chat	2,6	510	1,326	7,3	5,4
Chien	16	379	6,064	46,5	7,8
Chèvre	32	365	11,680	96	8,2
Homme	54,9	221	12,133	63	5,1
Cheval	388,8	127	49,403	ND	ND
Bovin	490	255	124,950	316	2,5

La faible capacité des échanges gazeux rend les bovins plus exposés au "mal d'altitude". Avec un rapport alvéoles/besoins en O₂ faible, ceci peut expliquer que les bovins aient proportionnellement une plus grande hypoxie que les autres espèces, à la même pression d'oxygène ambiant.

"Le mal d'altitude" ou "la maladie des hautes montagnes", syndrome apparaissant sur des bovins vivant à plus de 2 000 m d'altitude permet de le constater.

Alors que pour la plupart des espèces, y compris l'homme, une hypoxie aigue de courte durée, n'entraîne pas une hypertension pulmonaire supérieure à 10 mmHg, chez les bovins elle détermine une augmentation de la pression artérielle pulmonaire de 3 fois au moins sa valeur moyenne.

Cette hypertension résulte probablement d'une vasoconstriction veineuse ; les parois vasculaires pulmonaires des bovins possèdent davantage de fibres musculaires lisses que les autres espèces.

Lorsque la pression partielle en oxygène diminue de 120 à 35 mmHg (hypoxie provoquée) dans l'air alvéolaire, la ventilation est doublée chez le veau alors qu'elle est quadruplée chez l'homme.

Poumons très compartimentés sur le plan anatomique associés à une physiologie particulière, les ripostes du veau à l'hypoxie sont donc relativement faibles.

Ainsi les affections pulmonaires (pneumonies, toutes atteintes du parenchyme) doivent être dépistées pour limiter les risques d'apparition d'une telle hypoxie au cours de l'implantation d'un coeur artificiel.

CHAPITRE V : DOMINANTES PATHOLOGIQUES RENCONTREES CHEZ LE VEAU : CHOIX DE L'INDIVIDU

Si les conditions rationnelles du choix de l'animal sont plus ou moins déterminées, il n'en est pas de même de son état sanitaire.

Dans ce chapitre, nous aborderons la pathologie la plus fréquemment rencontrée chez le veau. Ceci nous incitera à être très vigilant au moment de sa livraison.

Dans les meilleures conditions lorsque le veau naît, il est alerte mais il est sans défense vis à vis du milieu extérieur. Alors débute un conflit biologique entre les germes ambiants et un organisme néonatal se défendant difficilement.

Les dominantes pathologiques rencontrées chez le veau dépendent essentiellement

. de l'âge de l'animal

- Au début c'est la pathologie intestinale (gastro-entérites) qui prédomine pendant les 15 premiers jours.

- Alors qu'à partir de la troisième semaine, l'infection digestive cède le pas aux maladies de l'appareil respiratoire ou à des infections locales notamment omphalites, arthrites ...

. du type d'élevage

- Le veau d'élevage traditionnel ("veau de lait") extériorisera surtout une pathologie que l'on pourrait dire d'individuelle, souvent mortelle.

- Alors qu'avec le veau d'élevage intensif (veau d'élevage et de boucherie) ce sera surtout une pathologie de groupe manifestant des retards de croissance avec comme répercussion une perte économique importante.

A - Dominantes pathologiques liées à l'âge

a) Période néonatale (affections du tractus digestif)

Cette pathologie affecte les veaux sous la mère dans les quinze premiers jours de la vie.

Son évolution est parfois rapidement mortelle. Elle correspond alors à une septicémie au cours de laquelle un agent très virulent envahit en quelques heures un organisme peu résistant. La mort s'ensuit.

Quant à la forme aigue, les animaux présentent la trilogie classique : fièvre-faiblesse-inappétence (réflexe de succion pratiquement aboli). A ce stade, une diarrhée s'établit déterminant en quelques heures une déshydratation intense.

L'étiologie de ces gastro-entérites sont de deux ordres :

. infectieux

L'agent principal bactérien semble être le plus souvent les colibacilles (actuellement on note une recrudescence des salmonelles) associés ou non à certains agents viraux (rotavirus et coronavirus en particulier).

. alimentaire

A la suite d'un changement brutal de régime alimentaire, la caillette surchargée devient alors un milieu favorable au développement d'une flore putréfiante.

Toutefois, la notion de "terrain" constitue un élément sans doute plus important que les agents d'agression. En effet, cette pathologie gastro-intestinale est bien caractérisée par l'équation pasteurienne :

$$\text{MALADIE} = \text{TERRAIN} + \text{INFECTION}$$

La résistance du veau, facteur essentiel intervenant dans la notion de terrain, reste très liée aux événements affectant la mère pendant la période de gestation.

Toutes infections chroniques (tuberculose, mammites, métrites ...) toutes affections parasitaires (strongylose, distomatose) toutes anomalies de l'alimentation, surtout en fin de gestation, diminuent toute la vitalité du veau.

Un autre aspect de la résistance est de nature immunologique. Contrairement à l'homme (dû au type de placentation) cette résistance pour le veau à la naissance est nulle. Elle peut être acquise si le veau ingère le colostrum.

Ce premier lait représente un concentré des moyens de défense accumulés par la mère tout au long de ses rencontres avec les divers germes de l'élevage. Pour que l'apport massif d'anticorps contenus dans le colostrum soit un profit pour le veau, il est indispensable que le nouveau-né tète de façon très précoce et suffisante ce "sérum".

En effet, la perméabilité intestinale aux globulines (support d'anticorps) n'est élevée que pendant les douze premières heures suivant la naissance. Il est donc essentiel que le veau dispose du colostrum le plus tôt possible après la naissance.

b) Période post-natale

Alors que la période à haut-risque digestif se termine, surviennent alors les pneumopathies.

Ces affections connaissent leur ampleur maximale chez les veaux d'élevage ou de boucherie rassemblés en lots, vivant en atmosphère confinée.

Les veaux sous la mère (veau de lait) ne sont pas à l'abri de ce genre d'accident. Toutefois, leurs conditions de vie et une protection supplémentaire conférée par la poursuite des tétées semblent diminuer la fréquence des troubles respiratoires.

Les pneumopathies intéressent l'ensemble de l'arbre respiratoire : des naseaux aux alvéoles.

A l'échelon individuel ou collectif, les troubles commencent par une poussée de fièvre associée à une inflammation des muqueuses qui se traduit par du larmoiement, un jetage nasal.

La toux sèche, quinteuse, rauque fait partie également des signes d'alerte. A ce stade, la guérison peut survenir, sinon la maladie s'installe en deux ou trois jours dans sa phase d'état.

Elle s'annonce par une aggravation des symptômes généraux et des signes respiratoires : hyperthermie, jetage et larmolement plus épais, les difficultés à l'inspiration et à l'expiration augmentent (dyspnée). L'infection virale primaire s'est compliquée alors d'une agression bactérienne.

La guérison dans beaucoup de cas survient en huit à quinze jours. Mais elle est souvent incomplète, laissant des séquelles pulmonaires responsables de rechutes évoluant sous forme de broncho-pneumonies suppurées.

Le mécanisme d'apparition de ces maladies respiratoires est tout à fait comparable et superposable à celui des gastro-entérites.

En effet, ces maladies résultent également d'une rupture de l'équilibre précaire entre le terrain et divers agents infectieux plus ou moins pathogènes.

L'état de résistance ou de réceptivité de la muqueuse broncho-alvéolaire est un paramètre fondamental très dépendant des facteurs climatiques extérieurs.

Ainsi la réceptivité aux agents infectieux est augmentée par des variations thermiques brutales (surtout le refroidissement), par l'influence des conditions hygrométriques, par la pollution chimique de l'air (ammoniac).

Si au même moment le système de défense du veau à l'égard des agents infectieux est défaillant, toutes les conditions sont requises pour que se développent des pneumopathies. En général, cet état d'immunodépression est consécutif à la succession d'un bon nombre de stress :

- . séparation précoce d'avec les mères pour les jeunes veaux
- . transport avec ses corollaires éventuels :
 - fatigue
 - jeûne plus ou moins prolongé (absence d'abreuvement)
 - variations thermiques importantes
 - manipulations plus ou moins douces

- . sévérité des régimes alimentaires du sevrage précoce
- . mise en lot avec toutes les conséquences de l'apparition du phénomène de groupe :
 - établissement de la hiérarchie, rapport animal dominant/animal dominé
 - risques accrus de contagion

L'étiologie de ces affections pulmonaires s'explique donc par l'action conjuguée de ces facteurs déprimant les moyens de défense physiologique et de multiples agents infectieux :

- virus : myxovirus parainfluenza, adénovirus, virus de la rhino-trachéite bovine infectieuse (IBR)...
- bactéries : pasteurella, corynébactéries
- mycoplasmes

Si la pathologie digestive et respiratoire représentent presque la totalité des affections rencontrées chez le veau, d'autres dans des proportions plus faibles peuvent être répertoriées :

- infections ombilicale et articulaire
- intoxication (cuivre)
- affections parasitaires : teignes, ascaridoses
- désordres métaboliques et nutritionnels : nécrose du cortex cérébral (carence en vitamines B), maladie du muscle blanc ou syndrome myopathie-dyspnée (carence probable en vitamine E et sélénium)
- malformations congénitales : hernie ombilicale, cardiopathie

B - Dominantes pathologiques liées au type d'élevage

a) Le veau provient d'un élevage traditionnel

Les veaux naissent sur l'exploitation, leur alimentation n'est constituée que de lait entier.

Dans ce mode d'élevage, le "veau de lait" est souvent à l'attache dans un coin sombre, humide, au fond de l'étable. Sur ce sujet, toute agression microbienne, parfois la plus banale, détermine alors une pathologie très diverse.

De la naissance à trois semaines l'infection se localise soit au niveau de l'appareil digestif déterminant des gastro-entérites précédemment décrites, soit au niveau de la région ombilicale ou articulaire.

Lorsque la localisation est ombilicale, cette région augmente de volume, le nombril devient dur et douloureux, la suppuration peut apparaître plus ou moins tardivement.

Si l'infection persiste, une péritonite avec mort foudroyante peut survenir. Ce tableau clinique correspond à ce que l'on appelle couramment "gros cordon" ou omphalophlébite.

Quant à l'arthrite, après des signes généraux d'une septicémie, une articulation (jarret, grasset) devient chaude, douloureuse empêchant tout appui sur le membre malade.

Le cap des trois semaines étant passé, la pathologie respiratoire peut se déclencher, le plus souvent de façon sporadique, sans prendre les proportions existantes dans les grands centres (centres d'engraissements, nursery).

b) Le veau provient d'un élevage intensif

Ces veaux de huit jours, transportés du lieu de leur naissance au centre d'allotement, puis de celui-ci à l'atelier d'engraissement ou à la nursery, privés de toute boisson pendant la durée du trajet, doivent s'adapter à leurs nouveaux locaux et à un changement d'alimentation (aliment d'allaitement).

Ces perturbations sont tellement éprouvantes pour le veau, qu'il arrive avec une résistance générale amoindrie voire abolie.

C'est là que se situe l'origine d'une grande partie des troubles qui vont s'extérioriser quelques jours plus tard.

Ainsi dès le premier jour suivant l'entrée au centre les problèmes digestifs apparaissent sous forme d'entérite, de ballonnement, d'indigestion de la caillette. Ils correspondent à la période d'adaptation à une nouvelle nourriture, à un nouveau habitat, à une nouvelle ambiance.

Si on ne surveille pas alors tout particulièrement les soins donnés aux animaux, l'alimentation (qualité quantité), propreté des récipients et du matériel servant à l'ingestion de l'aliment, tout sera requis pour l'éclosion de gastro-entérites.

Aux environs du quinzième jour après l'entrée en unité, peuvent survenir des maladies virales respiratoires. Les agents viraux sont portés par les veaux eux-mêmes. Ils se contaminent en quelques heures au niveau des centres d'allotement où s'effectuent des brassages d'animaux originaires de plusieurs régions.

Sur un terrain pulmonaire amoindri physiologiquement, l'association de ces agents (virus + bactéries) déclenche l'apparition de broncho-pneumopathies.

Quelle qu'en soit l'issue : mort, guérison ou passage au stade chronique, la croissance de l'animal est ralentie.

Afin de limiter l'éclosion de telle épidémie, des règles élémentaires de "bon sens" devraient être suivies :

- un âge de séparation mère-veau plus tardif permettant l'acquisition par le nouveau-né d'un état de résistance suffisant,
- un abreuvement correcte au cours du transport,
- une désinfection plus poussée des moyens de transport,
- une conduite raisonnée et progressive de l'alimentation,
- des locaux appropriés : orientation par rapport au vent dominant, cubage d'air par animal (6 à 8 m³ par veau), sol parfaitement sec.
- et le respect d'un principe majeur : la bande unique (exclure tout changement d'animaux dans le lot constitué) suivie d'un vide sanitaire de quinze jours pendant lequel un nettoyage et une désinfection sont réalisés.

QUATRIEME PARTIE

CONDUITE ET SOINS PRE-OPERATOIRES

Dans ce chapitre nous relaterons la conduite ainsi que les soins prodigués au veau pendant une période d'environ huit jours (date de la livraison-jour de l'intervention chirurgicale).

Actuellement, contraint par des insuffisances de crédit, l'hébergement des veaux ne peut être que de courte durée.

Afin de diminuer tous ces facteurs d'agression représentés par le transport, les variations brutales de température, le changement d'alimentation et de locaux, une nécessité s'impose : l'animal doit avoir le temps de s'adapter à ses nouvelles conditions de vie. Une période de huit jours, au moins, est essentielle.

A la suite de notre stage effectué à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, il en est ressorti deux grands thèmes généraux :

- la conduite à tenir lors de la réception du veau
 - les soins alloués pendant la phase pré-opératoire.
- Enfin un bilan sera dressé, et quelques solutions seront émises,

CHAPITRE I : RECEPTION DU VEAU : CONDUITE A RESPECTER

Les plus grandes précautions devront être prises dès l'arrivée de l'animal.

Le veau est placé dans un box suffisamment vaste et propre avec une litière importante. On veillera à ce que la température ambiante avoisine 17-18°C.

Avant d'entreprendre toute manipulation, il est capital de faire reposer l'animal pendant au moins trois heures. Une buvée rehydratante est à recommander (eau tiède salée ou sachet repas).

Il sera alors essentiel après ce repos de vérifier que le veau présente tous les signes d'un bon état sanitaire. Pour cela un examen clinique complet de l'animal (examen général et examen des différents appareils) est à observer.

A - L'examen général

Placé à distance du veau, l'observateur doit apprécier :

- l'allure générale,
- la conformation,
- l'état de la peau et des phanères,
- la fréquence respiratoire.

L'impression générale, que l'on retire, sur l'état de santé d'un animal vu à distance est important, car ce "coup d'oeil" rapide décèle certains signes qui seront approfondis lors de l'examen des différents appareils.

Ainsi, le veau, descendant du véhicule, doit avoir :

- l'oeil vif, l'oreille mobile, le mufle frais et humide
- un poil lisse et luisant
- de bonnes articulations
- un cordon ombilical sec et non enflammé
- l'arrière-train propre

Il doit être exempt :

- de larmoiement
- de jetage
- d'essoufflement.

Avant d'entreprendre toute manipulation, il est capital de faire reposer l'animal pendant au moins trois heures. Une buvée rehydratante est à recommander (eau tiède salée ou sachet repas).

Il sera alors essentiel après ce repos de vérifier que le veau présente tous les signes d'un bon état sanitaire. Pour cela un examen clinique complet de l'animal (examen général et examen des différents appareils) est à observer.

A - L'examen général

Placé à distance du veau, l'observateur doit apprécier :

- l'allure générale,
- la conformation,
- l'état de la peau et des phanères,
- la fréquence respiratoire.

L'impression générale, que l'on retire, sur l'état de santé d'un animal vu à distance est important, car ce "coup d'oeil" rapide décèle certains signes qui seront approfondis lors de l'examen des différents appareils.

Ainsi, le veau, descendant du véhicule, doit avoir :

- l'oeil vif, l'oreille mobile, le mufle frais et humide
- un poil lisse et luisant
- de bonnes articulations
- un cordon ombilical sec et non enflammé
- l'arrière-train propre

Il doit être exempt :

- de larmoiement
- de jetage
- d'essoufflement.

De façon générale, le jeune veau doit être vigoureux ; il doit s'étirer quand il se lève et téter avidement la main qu'on lui tend.

On complètera cette inspection par la prise de la température rectale. Il est utile aussi par ailleurs de vérifier le sexe, de réaliser une pesée et enfin de déterminer approximativement l'âge de l'animal.

Pour ce dernier point on pourra en avoir une idée par les critères suivants. Un veau âgé de deux mois présente :

- des cornillons mobiles non encore adhérents à l'os frontal sous-jacent
- un cordon ombilical cicatrisé
- une cavité buccale où les gencives blanchâtres délimitent nettement les collets des incisives.

B - Les examens spéciaux

Cette photographie générale doit être complétée par un examen systématique de chacun des appareils. Celui-ci s'effectue en respectant les quatre temps fondamentaux que sont l'inspection, la palpation, la percussion et l'auscultation.

a) L'appareil respiratoire

Avant de procéder à l'examen de l'appareil pulmonaire, une attention toute particulière doit être apportée à celui des voies respiratoires supérieures.

Normalement, le mufle d'un veau sain est humide et brillant sans aucune sécrétion nasale. Tout écoulement uni ou bilatéral, toute dilatation marquée des naseaux sera à prendre en considération.

Au cours de l'examen de l'appareil pulmonaire, il faudra s'attarder à l'observation des mouvements respiratoires, non seulement pour vérifier la fréquence respiratoire déjà contrôlée dans le cadre de l'examen général (12 à 24 mouvements par minute) mais aussi pour noter l'intensité et le type, ainsi que les caractères relatifs à l'inspiration et à l'expiration.

Chez les bovins la respiration est du type costo-abdominal, les durées de l'inspiration et de l'expiration sont dans un rapport de 1 à 1,2 environ. S'il est habituel de privilégier les renseignements fournis par l'auscultation, l'inspection des mouvements respiratoires est un élément déterminant du bon fonctionnement pulmonaire, en particulier la perturbation de la courbe respiratoire permet d'affirmer la réalité d'une atteinte pulmonaire aigue.

Si la percussion est très limitée chez les bovins (les organes sont trop volumineux et les tissus interposés trop épais), l'auscultation en est tout autre. Les bruits respiratoires normaux sont de deux types :

- respiration vésiculaire (audible à l'inspiration) surtout dans le tiers dorsal du champ thoracique
- respiration mixte vésiculaire et bronchique (bruits expiratoires) dans les parties restantes du champ.

En dehors des modifications de ces bruits, il faut également prendre en considération les bruits surajoutés : crépitation sèche (emphysème pulmonaire), crépitation humide (broncho-pneumonie), râles bronchiques secs (bronchite) et humides (oedème pulmonaire).

Des contrôles radiographiques du thorax peuvent compléter cet examen. Les clichés seront réalisés sur l'animal debout ou en position latérale (avec les membres antérieurs tirés vers l'avant).

b) L'appareil circulatoire

L'examen de cet appareil commence en général

. par l'inspection des muqueuses oculaires puis par celle de la région des veines jugulaires (recherche d'un pouls veineux rétrograde).

- . par palpation, la prise du pouls (fréquence, rythme, qualité) est un bon témoin de la pulsation des artères
- . et par auscultation du coeur. Chez les bovins, le coeur est pratiquement reporté à gauche du plan médian. L'examen du muscle cardiaque s'aborde par la gauche. Le stéthoscope sera placé dans le troisième ou quatrième espace inter-costal. Les caractères des bruits cardiaques, la fréquence et le rythme des contractions, et l'éventuelle présence de bruits surajoutés seront alors notés.

Si la pathologie respiratoire nous inquiète, les cardiopathies des bovins assez fréquentes dans les races à viande, sont rares sur les veaux de race laitière. Cependant, selon FONTENEAU, 50 p 100 de ces "veaux cardiaques" meurent dans les 48 premières heures de la naissance.

c) L'appareil digestif

Certains signes, comme l'arrière-train souillé, dépilations, découverts pendant l'examen général devront engager le clinicien à suspecter une pathologie digestive.

Pour cet appareil l'inspection est probablement le temps d'examen le plus enrichissant. L'enfoncement des globes oculaires, l'élasticité de la peau permettent d'apprécier l'état d'hydratation. L'aspect de la diarrhée (blanc, jaune, noire, hémorragique) permet d'en orienter l'étiologie.

L'appréciation de l'état sanitaire du veau ne pourra être définitive que si elle est complétée par l'examen de l'appareil locomoteur (arthrite ou boiterie traumatique).

C - Les examens complémentaires

L'examen hématologique comporte au moins

- . une numération formule
- . le temps de Quick et de Howel
- . le test d'hémolyse

Un examen de ce type permet déjà de noter les troubles d'anémie, de la coagulation, de suspecter l'existence de foyers infectieux.

Un examen biochimique comportant le dosage des éléments suivants : urée, bilirubine, ions Na^+ K^+ Ca^{++} Cl^- , électrophorèse sérique, gaz du sang complète le bilan.

CHAPITRE II : LES SOINS PRE-OPERATOIRES

Le respect des règles d'hygiène relatives à l'environnement et à l'alimentation sont primordiales. Elles contribuent à rendre moins vulnérable l'animal aux diverses agressions microbiennes ou virales.

A - L'alimentation

Le veau d'élevage, en nursery, subit un sevrage précoce (à partir de la quatrième semaine) afin de favoriser un développement rapide du rumen et de remplacer une alimentation lactée onéreuse par une alimentation sèche non lactée plus économique.

Après la période d'alimentation exclusivement lactée (les quinze premiers jours) la période de préparation au sevrage dure entre trois à sept semaines. Pendant cette période, l'aliment d'allaitement reste l'élément principal de la ration, mais il doit être complété par des aliments concentrés (granulés), du foin et de l'eau à volonté.

Généralement, la génisse sélectionnée, âgée de huit semaines environ se trouve dans cette période de préparation au sevrage.

Dès sa livraison il est parfois nécessaire de réhabituer l'animal à téter. Plusieurs jours sont nécessaires pour que le réflexe de succion réapparaisse. Ce procédé, quoique astreignant, nous semble être le plus sûr pour qu'une bonne ingestion d'aliments puisse se réaliser lors de la période post-opératoire.

En complément du foin et des granulés disposés à volonté, deux repas par jour d'un aliment d'allaitement (Néobion) sont prévus.

La distribution doit toujours avoir lieu aux mêmes heures, quant à la température du breuvage, elle doit approcher 38-40°C. Cette distribution s'effectue au seau et il faut éviter toute brutalité lorsqu'on lui réapprend à téter.

B - L'environnement

Les conditions d'environnement ont une influence indéniable sur le devenir du veau. On se rappellera que le veau peut vivre normalement dans une certaine plage de température (14-20°C) et d'hygrométrie (65-80 %) mais en dehors de ces limites, le veau est placé en situation instable.

Ainsi certaines mesures dans la conception du local sont à respecter :

- des box vastes (6 à 8 m³ par veau)
- avec une hauteur sol-plafond pas trop importante. Il faut sans cesse se rappeler que l'habitat animal doit se rapprocher des dimensions de l'espèce
- une bonne ventilation éliminant les gaz toxiques, soit par ventilation statique, soit par ventilation dynamique
- un sol lisse en pente facilitant l'écoulement des urines avec une litière importante et renouvelée chaque matin.

C - La surveillance

Elle doit être attentive les tous premiers jours. Un examen médical sera réalisé chaque matin pour enrayer sans délai toute évolution de maladie infectieuse.

Ces huit jours de "conditionnement" doivent permettre de limiter tout processus infectieux sous-jacent. Cependant, les lésions pulmonaires, foyers datant d'anciennes pneumonies, existent hélas toujours au sein du parenchyme pulmonaire. Aucun traitement médical ne pourra être radicalement curatif.

D - Préparation pré-opératoire de l'animal

a) La veille de l'opération

L'animal est mis depuis la veille à la diète. Du sang est prélevé au niveau de la jugulaire en vue de réaliser le test de compatibilité sanguine avec le sang recueilli sur les vaches donneuses. Ce dernier est prélevé sur des animaux en bonne santé, reposés exempts de maladies réputées légalement contagieuses (tuberculose, brucellose). La technique consiste à recueillir dans des flacons citratés, du sang prélevé à la jugulaire des donneuses.

b) Le jour de l'opération

L'animal est sorti de son box une heure avant l'opération. On procède à une tonte large de toute la partie droite de l'animal depuis le flanc jusqu'à la tête ainsi que la région cervicale gauche et la région médiale de la cuisse droite. Si le rasage semble inutile, un lavage minutieux à l'eau savonneuse des régions tondues est recommandé.

L'extrémité des membres débarrassée de tout fumier est ensuite enveloppée dans des linges propres.

Ces caractéristiques correspondent généralement à un veau d'élevage souche : c'est à dire à une femelle destinée à la reproduction, entrée en nursery.

Le recrutement de ce type d'animal âgé de 2 mois n'est pas aisé. En effet, pourquoi un éleveur se déciderait-il à se séparer d'une future reproductrice, alors que de nombreux frais d'investissements ont été déjà engagés ?

A notre avis, les seules vraies raisons qui peuvent justifier une telle séparation ne peuvent être que pathologiques. Cette hypothèse s'est révélée exacte, hélas à nos dépens.

Sur la totalité des veaux livrés au cours de l'année 79-80, tous présentèrent à l'autopsie des séquelles de pneumonies. Chez une génisse en particulier, une omphalite récidivante (malgré des thérapeutiques prolongées) s'expliqua par la persistance du canal de l'ouraque (communication entre la vessie et le nombril qui s'atrophie normalement).

B - Les risques encourus par le veau

Cinq grandes étapes successives peuvent être dénombrées au cours de la vie de la génisse.

Le tableau ci-joint a l'avantage de faire apparaître les risques encourus par le veau au cours des 2 premiers mois.

L'application à tous les échelons, à tous les maillons de la chaîne (du naisseur à la nursery) des règles d'hygiène et de prophylaxie sanitaire, permettrait de diminuer ces risques.

A l'heure actuelle, cette politique "contractuelle" liant naisseur, transporteur, engraisseur n'existe hélas pas.

La seule possibilité qui nous soit offerte actuellement pour obtenir un veau sain est de court-circuiter toutes ces étapes.

RISQUES ENCOURUS PAR LE VEAU (36)

Age	Les risques encourus par le veau
0	ETAPE 1 MERE - alimentation équilibrée - VIT.A au tarissement NAISSANCE - cordon désinfecté - colostrum . 1 litre avant 4 h . 5 litres avant 24 h NOURRITURE 0-8 jours HYGIENE 0-8 jours REPAS avant DEPART
8ème jour	ETAPE 2 TRANSPORT - propreté, confort (température, courants d'air), douceur (manipulation) autres veaux (malades et sains), durée abreuvement en route ETAPE 3 CENTRE D'ALLOTEMENT - propreté, confort, douceur, durée séjour, abreuvement (2fois/24 h) ETAPE 4 LIVRAISON - propreté - durée - confort - douceur - durée 15ème 21ème jour ETAPE 5 NURSERY - désinfectée + vide sanitaire - confort (paille, chaleur, isolation, ventilation, gaz) - eau potable

C - Solutions à envisager

Pour éviter ces risques il est conseillé :

- de n'acquérir que des animaux dont l'origine et la qualité sanitaire soient satisfaisantes.
- d'appliquer un plan rationnel d'élevage.

a) Origine du veau

Le veau acheté "sous la mère", à l'âge de huit à quinze jours (et non de 2 mois) doit être originaire d'une étable saine où la prophylaxie sanitaire est menée dans deux directions :

- d'une part chercher à accroître la résistance du veau en surveillant l'alimentation et l'état sanitaire des femelles gestantes (déparasitage, tarissement suffisant, alimentation équilibrée...)
- d'autre part diminuer le microbisme ambiant par une hygiène rigoureuse du vêlage, des locaux et lors de l'allaitement.

La réussite d'un tel plan dépend essentiellement de la compétence du naisseur.

b) Plan d'élevage

Ce plan doit comporter deux volets :

- une préparation alimentaire
- une préparation sanitaire

1) La préparation alimentaire

Pesant approximativement 40 à 45 kg à la naissance, on peut espérer, un gain de poids moyen de 700 à 800 g par jour. Une soixantaine de jours, environ, seront nécessaires pour atteindre le poids de 80 à 90 kg à la condition cependant que l'alimentation soit saine et de qualité.

Deux possibilités s'offrent à nous :

- soit nourrir le veau avec un aliment d'allaitement en poudre
- soit mettre l'animal sous une vache allaitante.

Cependant, quelle que soit la solution envisagée, elle nécessite une infrastructure avec un personnel qualifié.

Actuellement, contraints de ne pouvoir nourrir de façon adéquate un veau pendant 2 mois, nous nous sommes tournés, avec les risques que cela comporte, vers l'achat d'animaux, huit jours avant l'opération.

2) La préparation sanitaire

Son but est d'améliorer la résistance de l'animal. Cette préparation commence, doit on le rappeler, à la gestation en alimentant correctement la mère. De même, il est indispensable que, dès la naissance le veau tète souvent la mère pour bénéficier du colostrum contenant les anticorps et les vitamines dont il a besoin.

D'autre part, on ne saurait trop insister sur la nécessité de respecter les règles d'hygiène au vélage et au cours des 8 premiers jours (désinfection du cordon ombilical, locaux propres, litière sèche).

Ensuite, il convient d'éviter les erreurs éventuelles, les défaillances possibles du transporteur, du centre d'allotement, de tous les intermédiaires ; erreurs ou défaillances qu'il ne faut pas sous estimer et dont les effets s'additionnent chez l'animal et représentent des facteurs prédisposants, voire primordiaux.

Pour cela, comme nous l'avons souligné, il serait nécessaire de soustraire l'animal à toutes ces étapes en l'achetant sous la mère pour l'alimenter ensuite pendant 60 jours soit artificiellement (aliment d'allaitement), soit naturellement (vache allaitante).

Huit jours avant l'opération, l'animal sera enfin conduit dans son box de réanimation afin qu'il puisse s'acclimater à son nouvel environnement et à sa cage.

On procédera à un examen clinique complété par des examens hématologiques, biochimiques, radiographiques.

L'emploi de vaccins a été préconisé pour prévenir les pneumopathies. Or l'expérience montre qu'un jeune veau s'immunise d'autant moins après vaccination qu'il possède déjà des anticorps d'origine maternelle apportés passivement par le colostrum.

Un tel protocole est inopérant et ne peut en aucun cas remplacer le respect de règles élémentaires d'hygiène et de "bons sens" énoncées ci-dessus.

C'est en respectant tous "ces détails" que l'on pourra finalement obtenir un veau sain.

CONCLUSIONS

Cette étude après un aperçu sur la conception expérimentale d'un coeur artificiel a permis d'insister sur l'importance du choix de l'espèce, des soins et de la préparation pré-opératoires.

Le veau, de sexe femelle, montbéliard, âgé de 2 mois et pesant 85 kg, s'il n'est pas idéal, semble être le modèle le plus satisfaisant actuellement. On retiendra cependant les particularités de la fonction respiratoire qui font de cette espèce un animal très sensible à l'hypoxie.

Enfin, le non respect des règles de la physiologie et de l'hygiène au cours des échanges commerciaux nécessiterait, afin d'obtenir un animal sain, de l'acheter "sous la mère".

Des observations à plus long terme étudiant la fiabilité de fonctionnement des matériaux nous obligeront cependant à rechercher d'autres modèles parmi les animaux adultes.

La collaboration étroite entre médecins et vétérinaires ne peut que se poursuivre pour définir les caractéristiques de ce nouveau modèle.

Vu :

LE DIRECTEUR

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,

LE DOYEN,

LE PROFESSEUR RESPONSABLE

de l'Ecole Nationale Vétérinaire,

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,

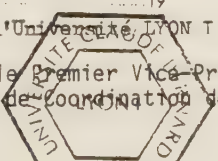
Vu et permis d'imprimer

9 DEC. 1981

LYON, le 19

Le Président de l'Université LYON I

Pour le Président, le Premier Vice-Président,
Président du Comité de Coordination des
Etudes Médicales,



BIBLIOGRAPHIE

- 1 - AKUTSU (T) :
Artificial Heart : Total Replacement and partial support.
Edit. IGAKU SHOIM LTD TOKYO, EXCERPTA MEDICA, AMSTERDAM, (1975).
- 2 - ATSUMI (K) et coll. :
Analysis of long survivals (over one month) in Total Artificial
Heart Replacement.
Européan Society for Artificial Organs, (1976), vol. III, p. 44.
- 3 - BARONE (R) :
Cours d'anatomie.
Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, (1975-1977).
- 4 - BARONE (R) :
Anatomie comparée des mammifères domestiques, Splanchnologie :
appareil digestif-appareil respiratoire.
LABORATOIRE D'ANATOMIE ENVL, (1976).
- 5 - BLOOD-HENDERSON :
Médecine vétérinaire.
VIGOT FRERES, Paris (1976).
- 6 - BOISSEL :
Modèle expérimental de l'athérosclérose.
Exp. Anim. (1971), 4, p. 363.
- 7 - BOUVRAIN (Y), SAUMONT (R), CORABOEUF (E) :
Le coeur artificiel.
Pres. Méd. (1970), 78, 4, p. 191.

- 8 - CABROL (C) :
La greffe cardiaque douze ans après.
Rev. Prat. (1979), 29, 53, p. 4 081.
- 9 - CORNELIUS (A) :
Biomédicals models in veterinary models.
Am. J. Méd. (1966), 40, p. 165.
- 10 - COTTEREAU (Ph) :
Prophylaxie des maladies infectieuses et parasitaires des veaux dans les grandes unités d'engraissement.
Rév. Méd. Vét. (1976), 127, 4, p. 575.
- 11 - COULON (J) :
La transfusion sanguine chez les animaux domestiques.
Bull. Soc. Vét. et Méd. comparée (1977), 79, 3, p. 121.
- 12 - DOYLE
Observation on the circulation of domestic cattle.
Cir. Res. (1960), 8, p. 4.
- 13 - ESPINASSE (J) :
Gastro-entérites et maladies pulmonaires : deux graves menaces pour le jeune veau.
N° hors série, Animaux sains = Animaux productifs (1974), l'élevage bovin.
- 14 - FLORIO, COTTEREAU (Ph) :
Sur le temps de Quick normal de quelques animaux domestiques.
Bull. Soc. Vét. et Méd. comparée (1959), 61, p. 129.

- 15 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales des veaux à croupe double.
Rev. Méd. Vét. (1963), 114, 8-9, p. 565.
- 16 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales chez les bovins.
Rév. Méd. vét. (1968), 119, 3, p. 255.
- 17 - FRIEDMANN (JC) :
Valeur des modèles animaux en pathologie comparée et expérimentale.
Exp. Anim. (1971), 4, p. 91.
- 18 - FRIEDMANN (JC) :
Conception actuelle de l'animal d'expérimentation.
Exp. Anim. (1971), 4, 27, p. 39.
- 19 - GOETZ :
Cardiorespiratory dynamic in the ox and giraffe with comparative
observation in man and other mammals.
Ann. N. Y. Acad. Sci. (1965), 127, p. 393.
- 20 - HOLLARD (D), BARNIQUE (J), RAMBAUD (F), BENNADID (Y), LAURENT (M),
SUSCILLON (M), CANNEPIN (R), TURQUAND (O) :
Hématologie du veau.
Rév. Méd. Vét. (1968), 119, 1, p. 13.
- 21 - KEPENEKIAN (G), HEYNEN (Y), GEORGE (M) :
Le coeur artificiel en 1976.
Technica, N° 395, (1977), p. 4.
- 22 - KEPENEKIAN (G), VADOT (L), DUREAU (G), MARION (P) :
Studies of an analogous model for atrial shunt in an artificial heart.
Européan Society for Artificial Organs (1975), Vol. II, p. 131.

- 15 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales des veaux à croupe double.
Rev. Méd. Vét. (1963), 114, 8-9, p. 565.
- 16 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales chez les bovins.
Rév. Méd. vét. (1968), 119, 3, p. 255.
- 17 - FRIEDMANN (JC) :
Valeur des modèles animaux en pathologie comparée et expérimentale.
Exp. Anim. (1971), 4, p. 91.
- 18 - FRIEDMANN (JC) :
Conception actuelle de l'animal d'expérimentation.
Exp. Anim. (1971), 4, 27, p. 39.
- 19 - GOETZ :
Cardiorespiratory dynamic in the ox and giraffe with comparative
observation in man and other mammals.
Ann. N. Y. Acad. Sci. (1965), 127, p. 393.
- 20 - HOLLARD (D), BARNIQUE (J), RAMBAUD (F), BENNADID (Y), LAURENT (M),
SUSCILLON (M), CANNEPIN (R), TURQUAND (O) :
Hématologie du veau.
Rév. Méd. Vét. (1968), 119, 1, p. 13.
- 21 - KEPENEKIAN (G), HEYNEN (Y), GEORGE (M) :
Le coeur artificiel en 1976.
Technica, N° 395, (1977), p. 4.
- 22 - KEPENEKIAN (G), VADOT (L), DUREAU (G), MARION (P) :
Studies of an analogous model for atrial shunt in an artificial heart.
Européan Society for Artificial Organs (1975), Vol. II, p. 131.

- 15 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales des veaux à croupe double.
Rev. Méd. Vét. (1963), 114, 8-9, p. 565.
- 16 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales chez les bovins.
Rév. Méd. vét. (1968), 119, 3, p. 255.
- 17 - FRIEDMANN (JC) :
Valeur des modèles animaux en pathologie comparée et expérimentale.
Exp. Anim. (1971), 4, p. 91.
- 18 - FRIEDMANN (JC) :
Conception actuelle de l'animal d'expérimentation.
Exp. Anim. (1971), 4, 27, p. 39.
- 19 - GOETZ :
Cardiorespiratory dynamic in the ox and giraffe with comparative
observation in man and other mammals.
Ann. N. Y. Acad. Sci. (1965), 127, p. 393.
- 20 - HOLLARD (D), BARNIQUE (J), RAMBAUD (F), BENNADID (Y), LAURENT (M),
SUSCILLON (M), CANNEPIN (R), TURQUAND (O) :
Hématologie du veau.
Rév. Méd. Vét. (1968), 119, 1, p. 13.
- 21 - KEPENEKIAN (G), HEYNEN (Y), GEORGE (M) :
Le coeur artificiel en 1976.
Technica, N° 395, (1977), p. 4.
- 22 - KEPENEKIAN (G), VADOT (L), DUREAU (G), MARION (P) :
Studies of an analogous model for atrial shunt in an artificial heart.
European Society for Artificial Organs (1975), Vol. II, p. 131.

- 15 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales des veaux à croupe double.
Rev. Méd. Vét. (1963), 114, 8-9, p. 565.
- 16 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales chez les bovins.
Rév. Méd. vét. (1968), 119, 3, p. 255.
- 17 - FRIEDMANN (JC) :
Valeur des modèles animaux en pathologie comparée et expérimentale.
Exp. Anim. (1971), 4, p. 91.
- 18 - FRIEDMANN (JC) :
Conception actuelle de l'animal d'expérimentation.
Exp. Anim. (1971), 4, 27, p. 39.
- 19 - GOETZ :
Cardiorespiratory dynamic in the ox and giraffe with comparative
observation in man and other mammals.
Ann. N. Y. Acad. Sci. (1965), 127, p. 393.
- 20 - HOLLARD (D), BARNIQUE (J), RAMBAUD (F), BENNADID (Y), LAURENT (M),
SUSCILLON (M), CANNEPIN (R), TURQUAND (O) :
Hématologie du veau.
Rév. Méd. Vét. (1968), 119, 1, p. 13.
- 21 - KEPENEKIAN (G), HEYNEN (Y), GEORGE (M) :
Le coeur artificiel en 1976.
Technica, N° 395, (1977), p. 4.
- 22 - KEPENEKIAN (G), VADOT (L), DUREAU (G), MARION (P) :
Studies of an analogous model for atrial shunt in an artificial heart.
Européan Society for Artificial Organs (1975), Vol. II, p. 131.

- 15 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales des veaux à croupe double.
Rev. Méd. Vét. (1963), 114, 8-9, p. 565.
- 16 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales chez les bovins.
Rév. Méd. vét. (1968), 119, 3, p. 255.
- 17 - FRIEDMANN (JC) :
Valeur des modèles animaux en pathologie comparée et expérimentale.
Exp. Anim. (1971), 4, p. 91.
- 18 - FRIEDMANN (JC) :
Conception actuelle de l'animal d'expérimentation.
Exp. Anim. (1971), 4, 27, p. 39.
- 19 - GOETZ :
Cardiorespiratory dynamic in the ox and giraffe with comparative
observation in man and other mammals.
Ann. N. Y. Acad. Sci. (1965), 127, p. 393.
- 20 - HOLLARD (D), BARNIQUE (J), RAMBAUD (F), BENNADID (Y), LAURENT (M),
SUSCILLON (M), CANNEPIN (R), TURQUAND (O) :
Hématologie du veau.
Rév. Méd. Vét. (1968), 119, 1, p. 13.
- 21 - KEPENEKIAN (G), HEYNEN (Y), GEORGE (M) :
Le cœur artificiel en 1976.
Technica, N° 395, (1977), p. 4.
- 22 - KEPENEKIAN (G), VADOT (L), DUREAU (G), MARION (P) :
Studies of an analogous model for atrial shunt in an artificial heart.
European Society for Artificial Organs (1975), Vol. II, p. 131.

- 15 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales des veaux à croupe double.
Rev. Méd. Vét. (1963), 114, 8-9, p. 565.
- 16 - FONTENEAU (M) :
Les cardiopathies congénitales chez les bovins.
Rév. Méd. vét. (1968), 119, 3, p. 255.
- 17 - FRIEDMANN (JC) :
Valeur des modèles animaux en pathologie comparée et expérimentale.
Exp. Anim. (1971), 4, p. 91.
- 18 - FRIEDMANN (JC) :
Conception actuelle de l'animal d'expérimentation.
Exp. Anim. (1971), 4, 27, p. 39.
- 19 - GOETZ :
Cardiorespiratory dynamic in the ox and giraffe with comparative
observation in man and other mammals.
Ann. N. Y. Acad. Sci. (1965), 127, p. 393.
- 20 - HOLLARD (D), BARNIQUE (J), RAMBAUD (F), BENNADID (Y), LAURENT (M),
SUSCILLON (M), CANNEPIN (R), TURQUAND (O) :
Hématologie du veau.
Rév. Méd. Vét. (1968), 119, 1, p. 13.
- 21 - KEPENEKIAN (G), HEYNEN (Y), GEORGE (M) :
Le cœur artificiel en 1976.
Technica, N° 395, (1977), p. 4.
- 22 - KEPENEKIAN (G), VADOT (L), DUREAU (G), MARION (P) :
Studies of an analogous model for atrial shunt in an artificial heart.
European Society for Artificial Organs (1975), Vol. II, p. 131.

- 23 - KINDA BROWN :
Pulmonary vascular response to acute hypoxia in normal unanesthetized calves.
J. Appl. Physiol. 203, p. 391.
- 24 - LAPEYRE (D), MARION (P) :
Coeur artificiel implantable à débit auto-régulé fonctionnant sur une source d'énergie.
Lyon Chirurgical (1970), 66 p. 152.
- 25 - MARMET (R) :
La connaissance du bétail, Tome 1 les bovins.
Collection d'enseignement agricole, Edit. JB BAILLIERE ET FILS, Paris.
- 26 - MASSIP (A), FUMIERE (I) :
Protéines sériques chez les veaux normaux : variation en fonction de l'âge et de la période de l'année.
Rév. Méd. vét. (1975), 151, p. 363.
- 27 - MORNET (P), ESPINASSE (J) et Coll. :
Le veau .
Edit. MALOINE, Paris, (1977).
- 28 - MOUTHON (G), MICHAUX (JM), GIRARD (P) :
Quelques aspects de la myopathie dégénérative et des viandes à pH élevé des jeunes bovins précoces.
Bull. Soc. Sci. Vét. et Méd. comparée (1980), 82, 5, p. 271.
- 29 - NELSON (JH), EKINS (DS), ALLEN (SD) :
Blood characteristics of the holstein calf in cardio-pulmonary studies.
J. Appl. Physiol. (1974), 37, 2, p. 145.

- 30 - NOIRCLERC (M), DOR (V), MERMET (B) et Coll. :
La circulation extra-corporelle avec survie chez le chien adulte.
Ann. Chir. Thorac. Cardio-Vasc. (1972), 11, p. 321.
- 31 - QUILLET (JP) :
La préparation du veau laitier de huit jours.
Annuel 1979, ITEB.
- 32 - ROSENBERGER (G) :
Examen clinique des bovins : méthodes, résultats, interprétation.
Edit. POINT VETERINAIRE (1979).
- 33 - RUCKEBUSCH (Y) :
Physiologie, Pharmacologie, Thérapeutique animales.
Edit. MALOINE, Paris (1977).
- 34 - SAVEY (M) :
Transfusion sanguine chez les bovins et ictère hémolytique du nouveau-né.
Le Point Vétérinaire (1978), 7, 31, p. 15.
- 35 - SCIENCE ET AVENIR :
N° hors série, n° 28 Les Organes Artificiels.
- 36 - SOISSONS (J) :
Peut-on prévenir les maladies respiratoires ?
L'Elevage Bovin (1980), 100, p. 27.
- 37 - TENNAUT (B) :
Hématology of néonatal calf : érythrocyte and leucocyte values of normal calves.
Cornel. Vét. (1964), p. 516.

- 38 - VADOT (L), ESTANOVE (JF), MARION (P) :
Artificial ventricle with permanent internal flow-whirl-heart.
Description and application for left ventricular assistance.
Trans. Amér. Soc. Artif. Int. Organs (1968), 14, p.273.
- 39 - VAGHER (JP), PEARSON (B), BLATT (S) :
Biochemical and hématologic values in male holstein friesian calves.
Am. J. Vét. Res. (1973), 34, p. 273.
- 40 - VEIT (L), FARREL (L) :
Relations entre l'anatomie et la physiologie du système respiratoire
bovin et les maladies respiratoires.
Bulletin des GTV (1981), 5 B, 228, p. 35.
- 41 - WILL (DH), ALEXANDER (AF) :
"La maladie de poitrine" in Médecine et Chirurgie des bovins.
Edit. VIGOT FRERES, Paris, (1974).
- 42 - WOLTER (R) :
Nutrition et infection chez le veau nouveau-né.
Soc. Vét. Prat. (1970), p. 130.

